国家重点图书

谢礼立　张景发　编著

颤抖的地球

——地震科学

院士科普

清华大学出版社
暨南大学出版社

科院
普士

弘扬科学精神

传播科学思想

倡导科学方法

普及科学知识

颤抖的地球

——地震科学

地震对我们来说并不陌生，最近半个世纪，它既给我们点燃了成功预报的希望，又给我们刻下了惨痛伤亡的印记。随着现代化的快速发展，地震灾害已经成为今后威胁经济发展最重要的自然灾害因素。“知震”才不会“恐震”，只有全面了解地震，正确对待地震，掌握自我防护的基本知识，才能在地震发生时最大限度地减少损失。本书在地球运动、地震产生、地震预报、地震防御、工程抗震设防和地震应急及地震宣传等方面对地震知识做了简要介绍，加深人们对地震及地震灾害科学的认识。

ISBN 7-302-10694-0

9 787302 106944 >

定价：12.00元

院士科普书

谢礼立　张景发 编著

颤抖的地球

——地震科学

清华大学出版社
北京

暨南大学出版社

内容简介

本书在地球运动、地震产生、地震预报、地震防御、工程设防和地震应急及地震宣传等方面对地震知识做了简要介绍，以加深人们对地震的认识程度，增强自我防护能力，并促使更多的人投身到地震研究中来。促进人类和社会的安全，促进防震减灾事业发展。

图书在版编目(CIP)数据

颤抖的地球：地震科学 / 谢礼立，张景发编著．—北京：清华大学出版社；广州：暨南大学出版社，2005.4

(院士科普书系·路甬祥主编)

ISBN 7-302-10694-0

Ⅰ．颤…　Ⅱ．①谢…②张…　Ⅲ．地震学—普及读物　Ⅳ．P315-49

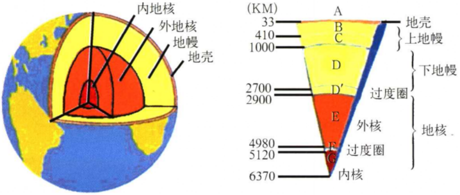
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 022895 号

出 版 者：清华大学出版社　　地　　址：北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn　　邮　　编：100084
社 总 机：010-62770175　客户服务：010-62776969

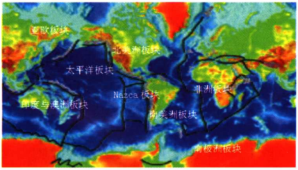
责任编辑：宋成斌
印 刷 者：清华大学印刷厂
装 订 者：三河市李旗庄少明装订厂
发 行 者：新华书店总店北京发行所
开　　本：140×203　印张：6.25　插页：2　字数：124 千字
版　　次：2005 年 4 月第 1 版　2005 年 4 月第 1 次印刷
书　　号：ISBN 7-302-10694-0/P·2
印　　数：1～3000
定　　价：12.00 元



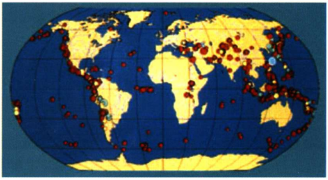
彩图 1.1　地球奇观(摘自阆中天成论坛网)



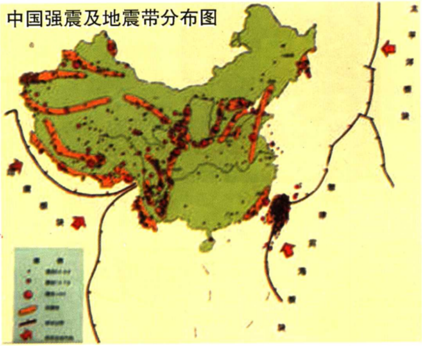
彩图 1.2　地球内部结构示意图(摘自我们的家园网)



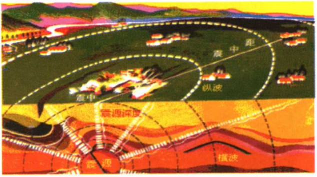
彩图 1.3　板块学说的诞生



彩图 2.1　世界地震带分布
(摘自真源网)



彩图 2.2　中国强震及地震带分布图(摘自新疆天山网)



彩图 2.3　震中示意图(摘自中国公众科技网)



彩图 8.1　震前地光现象

《院士科普书系》编委会(第三届)

提高全民族的科学素质

——序《院士科普书系》

人类走到了又一个千年之交。

人类的文明进程至少已有六千余年。地球上各个民族共同创造了人类文明的灿烂之花。中华文明同古埃及文明、古巴比伦文明、古印度文明、古希腊文明等一起，是人类文明的发源地。

十五世纪之前，以中华文明为代表的东方文明曾遥遥领先于当时的西方文明。从汉代到明代初期，中国的科学技术在世界上一直领先长达十四个世纪以上。在那个时期，影响世界文明进程的重要发明中，相当部分是中华民族的贡献。

后来，中国逐渐落后了。中国为什么落后？近代从林则徐以来许多志士仁人就不断提出和思索这个历史课题。但都没有找到正确的答案。以毛泽东同志、邓小平同志为代表的中国共产党人作出了惟一正确的回答：中国落后，是由于生产力的落后和社会政治的腐朽。西方列强对中国的欺凌，更加剧了中国经济的落后和国家的衰败。而落后就要挨打。所以要进行革命，通过革命从根本上改变旧的生产关系和政

治上层建筑，为解放和发展生产力开辟道路。于是，就有了八十多年前孙中山先生领导的辛亥革命，就有了五十年前我们党领导的新民主主义革命的胜利，以及随后进行的社会主义革命的成功。无论是革命还是我们正在进行的社会主义改革，都是为了解放和发展生产力。

邓小平同志提出的“科学技术是第一生产力”的著名论断，使我们对科学技术在经济和社会发展中的地位与作用的认识，有了新的飞跃。我们应该运用这一真理性的认识，深刻总结以往科学技术发展的历史经验，把我国科技事业更好地推向前进。中国古代科技有过辉煌的成果，但也有不足，主要是没有形成实验科学传统和完整的学科体系，科学技术没有取得应有的社会地位，更缺乏通过科技促进社会生产力发展的动力和机制。为什么近代科学技术首先在文艺复兴后的欧洲出现，而未能在中国出现，这可能是原因之一吧。而且，我国历史上虽然有着伟大而丰富的文明成果和优良的文化传统，但相对说来，全社会的科学精神不足也是一个缺陷。鉴往开来，继承以往的优秀文化，弥补历史的不足，是当代中国人的社会责任。

在新的世纪中，中华民族将实现伟大的复兴。在一个占世界人口五分之一的发展中大国里，再用五十年的时间基本实现现代化，这又是一项惊天动地的伟业。为实现这个光辉

的目标，我们应该充分发挥社会主义制度的优越性，坚持不懈地实施科教兴国战略。

科教兴国，全社会都要参与，科学家和教育家更应奋勇当先，在全社会带头弘扬科学精神，传播科学思想，倡导科学方法，普及科学知识。科教兴国也要抓好基本建设。编辑出版高质量的科普图书，就是一项基本建设，对于提高全民族的科学素质，是很有意义的。在《院士科普书系》出版之际，写了上面这些话，是为序。

江泽民

一九九九年十二月二十三日

人民交给的课题

——写在《院士科普书系》出版之际

世界正在发生深刻的变化。这一变化是20世纪以来科学技术革命不断深入的必然结果。从马克思主义的观点看来，生产力的发展是人类社会发展与文明进步的根本动力；而“科学技术是第一生产力”，因此，科学技术是推动社会发展与文明进步的革命性力量。从生产力发展的阶段看，人类走过了农业经济时代、工业经济时代，正在进入知识经济时代。

知识经济时代，知识取代土地或资本成为生产力构成的第一要素。知识不同于土地或资本，不仅仅是一种物质的形态，知识同时还是一种精神的形态。知识，首先是科学技术知识，将不仅渗透到生产过程、流通过程等经济领域，同时还将渗透到政治、法律、外交、军事、教育、文化和社会生活等一切领域。可以说，在新的历史时期，一个国家、一个民族能否掌握当代最先进的科技知识以及这些科技知识在国民中普及的程度将决定其国力的强弱与社会文明程度的高低。科技创新与科普工作是关系到一个国家、一个民族兴衰的

大事。

对于我们科技工作者来说，我们的工作应当包含两个方面：发展科技与普及科技；或者说应当贯穿于知识的生产、传播及应用的全过程。我们所说的科普工作，不仅是普及科学知识，更应包括普及科学精神和科学方法。

我们的党和政府历来都十分重视科普工作。党的十五大更是把树立科学精神、掌握科学方法、普及科技知识作为实施科教兴国战略和社会主义文化建设的一项重要任务提到了全党、全国人民和全体科学工作者的面前。

正是在这样的背景下，1998 年春由科学时报社（当时叫“中国科学报社”）提出创意，暨南大学出版社和清华大学出版社积极筹划，会同中国科学院学部联合办公室和中国工程院学部工作部，共同发起《院士科普书系》这一重大科普工程。

1998 年 6 月，中国科学院与中国工程院“两院”院士大会改选各学部领导班子，《院士科普书系》编委会正式成立，各学部主任均为编委会委员。编委会办公室在广泛征求意见的基础上拟出 150 个“提议书目”，在“两院”院士大会上向 1000 多名院士发出题为《请科学家为 21 世纪写科普书》的“约稿信”，得到了院士们的热烈响应。在此后的半年多时间里，有 176 名院士同编委会办公室和出版社签订了 175 本书的写作出版协议，开始了《院士科普书系》艰辛的创作过程。

《院士科普书系》的定位是结合当代学科前沿和我国经济建设与社会发展的热点问题，普及科技知识、科学方法。科学性、知识性、实用性和趣味性是编写的总要求。

编写科普书对我国大多数院士来说是一个新课题。他们惯于撰写学术论文。如何把专业的知识和方法写成生动、有趣、有文采的科普读物，于科技知识中融入人文教育，不是一件容易的事。不少院士反映：写科普书比写学术专著还难。但院士们还是以感人的精神完成自己的书稿。在此过程中，科学时报社和中国科学院学部联合办公室、中国工程院学部工作部以及清华大学出版社、暨南大学出版社也付出了辛勤的劳动。

《院士科普书系》首辑终于出版了。这是人民交给科学家课题，科学家向人民交出答卷。江泽民总书记专门为《院士科普书系》撰写了序言，指出科普是科教兴国的基础工程，勉励科学家、教育家"在全社会带头弘扬科学精神，传播科学思想，倡导科学方法，普及科学知识"，充分表达了党的第三代领导集体对科普的重视，对提高全民族科技素质的殷殷期望。

《院士科普书系》将采取滚动出版的模式。一方面随着院士们的创作进程，成熟一批出版一批；另一方面随着科学技术的进步和创新，不断有新的题材由新的院士作者撰写。因此，《院士科普书系》将是一个长期的、系统的科普工程。

这一庞大的工程，不但需要院士们积极投入，还需要各界人士和广大读者的支持——对我们的选题和内容提出修订、完善的建议，帮助我们不断提高《院士科普书系》的水平与质量，使之成为国民科技素质教育的系统而经典的读本。在科学家群体撰写科普书方面，我们也要以此为起点为开端，参与国际竞争与合作，勇攀世界科普创作的高峰。

中国科学院院长

《院士科普书系》编委会主任

路甬祥

2000年1月8日

前　言

自从地球形成之日起，地球便无时无刻不处于运动变化之中，而地震，作为地球运动变化过程中的伴生现象，也几乎在地球形成的同时就具备了发生的条件。不过那时还不存在人类，更没有人类和社会，即使发生了地震也根本不会造成对人类的侵害，当然也不会有什么地震灾害。因此单从地震来讲，它本身不是灾害，地震只是一种自然现象。我们将它称为“灾象”，意喻能导致灾害的自然现象，即使后来有了人类，有了人类社会，由于地震具有巨大的破坏力，给人类和人类社会带来破坏与侵害造成了灾害，但这也不单是地震这一自然现象的过错，更重要的是人类自己缺乏对地震规律的正确认识，缺乏对地震破坏力的正确防御方法，这才导致了地震灾害的发生。

随着城市现代化的快速发展，地震这一自然现象及其可能带来的灾害显然已经成为威胁社会和经济发展最重要的自然因素。因此，加强对地震的成因和发生机理的研究，做好地震预测预报工作，特别是在工程上采取防震抗灾措施已成为各国学者极为关注的问题。自 20 世纪中叶以来，有关地震科学的研究不断兴起，随着现代科学技术手段的进一步发展，使地震科学及其防御的技术逐渐融合成为了一门更加完善的科学，即地震灾害科学。

地震及地震灾害的研究工作是一项非常艰难的工作，由于科学技术水平的限制，尽管人类已经能够上天入海，但是人类面对自己居住的家园——地球却无法“深入”，因而对之仍然是知之甚少。人类对地球内部的监测还十分有限，因此造成了对地球内部的研究如果不算是一筹莫展，那也只能是“略知皮毛”而已。兼之地震现象的极其复杂性、地震观测及经验规律的局限性，人类对于地震科学及地震灾害科学的研究还处于初级阶段。

然而，地震及灾害研究是一个从未知到已知的渐进过程，在漫长的研究历程中，也有许多成功预报和灾害防御的范例，海城地震的预报就是一个成功的例子。而从现有的地震科学实践来看，对地震灾害科学的研究还需要几代人持之以恒的探索和奋斗。

“知震”才不会“恐震”。消除“恐震”心理的有力武器是传播地震科学知识和地震灾害防御知识，让公众全面了解地震、正确认识地震，掌握自我防护的基本常识。地震科学知识和防御意识，已成为现代公民科学素质的一个重要方面。许多事例和教训说明，如果掌握了避震防灾的常识和技能，在应对地震这样突发的自然灾害时，就能大大减轻人员伤亡和经济损失。

“防震减灾”是人类针对地震灾害的惟一选择，这不仅是在地震预报难题解决之前的正确选择，而且即便人类能够准确预报地震的发生，人们仍然要走防震减灾的道路。

本书在地球运动、地震产生、地震预报、地震防御、工程设防和地震应急及科普宣传等方面对地震知识做了简要介

绍，以加深人们对地震以及地震灾害科学的认识，使我们能以更积极和更主动的态度来对待地震和地震灾害，促进人类和社会的安全，促进防震减灾事业的发展。

本书共有10章。第1章主要介绍地球和板块构造；第2章介绍地震和地震科学；第3章介绍地震灾害产生的原因；第4章介绍地震的特点，并依据地震灾害与地震的关系，划分了几种地震灾害类型；第5章介绍了海啸的产生，海啸的危害和海啸自救对策等；第6章为本书的最重要章节，介绍了减轻地震灾害的各种措施，包括高新技术在防震减灾中的作用等；第7章介绍地震预报的内容、方法和现状；第8章介绍地震前兆现象；第9章介绍工程抗震设防和抗震方法；第10章介绍地震应急和减灾对策。

在本书的编写过程中，承蒙中国地震局地壳应力研究所冯万鹏、姜文亮、龚丽霞硕士研究生，中国地震局工程力学研究所公茂盛及胡进军博士研究生协助收集并整理有关资料；中国地震局地壳应力研究所王文清编审、续春荣高级工程师和张宝红副编审对全书进行了精心修改；扬中市中学高级教师张德生先生和北京工业大学建筑工程学院郭明珠副教授对本书文字进行了细致的推敲。在此一并表示感谢。

最后，特别要感谢中国科学院“科学时报社”潘锋主任记者对本书编著工作的热心支持和帮助。

中国工程院院士　谢礼立

2005年4月

目　　录

1 飘移的大陆

地震就是地球表层的快速震动，在古代称为地动。它就像刮风、下雨、闪电、山崩、火山爆发一样，是地球上经常发生的一种自然现象，它是由于地球内部壳体的运动及能量的释放产生的，因此要想更深入地了解地震及其产生原因，就一定要认识地球本身的物质组成和结构。

1.1 浅谈地球

浩瀚的宇宙对亿万地球人来说是极其神秘的，它向我们展现出了一幅无比绚丽多彩的景观。这是自然科学领域中最具有

覆盖在原始地壳上的层层叠叠的岩层，是一部地球几十亿年演变发展留下的"石头大书"，地质学上叫做地层。

吸引力的科学奥秘之一。"盘古开天辟地"、"女娲补天"的传说，是我国古人对地球由来的一种超现实主义的美妙幻想。地球和宇宙是怎样产生的？生命与人类的起源？在科学界合称为"四大起源"问题。从《山海经》到《圣经故事》，人类自诞生之日起，就从未间断过对地球的不断探索。无论是巧夺天工的绮丽景致，还是一次毁灭性的大灾难——洪水、飓风、火山及地震，都不断地激发人们对大自然孜孜不倦的探索和研究。

地球，作为自然界赖以生存的载体，不需要飞行器即可被观察到，然而要想得到整个地球的全貌，仍需要借助航空技术的发展，直到 20 世纪后半叶才真正得到了美丽地球的全貌(彩图 1.1)。它是多么与众不同的漂亮！

1.2 地球的起源

科学家们过去认为包括地球、水星、金星、火星在内的石质行星是由一块尘埃云快速引力坍缩形成的。这种坍缩产生了致密的球体，但在 20 世纪 60 年代，阿波罗太空计划的有关研究成果改变了这种观点。对月坑的研究揭示出这些坑是由距今约 45 亿年的大量天体的撞击形成的。在浩如烟海的宇宙大家庭里，地球是一个年轻的星球。覆盖在原始地壳上的层层叠叠的岩层，是一部地球几十亿年演变发展留下的"石头大书"，地质学上叫做地层。地层从最古老的地质年代开始，层层叠叠地到达地表。一般来说，先形成的地层在下，后形成的地层在上，越靠近地层上部的岩层形成的年代越新。地层好比是记录地球历史的一本书，地层中的岩石和

用现代科学的方法通过对古老岩石的测定，人们得知地球已经存在 46 亿年。

化石就像这本书中的文字。用现代科学的方法通过对古老岩石的测定，人们得知地球已经存在 46 亿年。在近 50 亿年的短周期中(天文学标准)，地球不断重复着侵蚀与构造的过程，地球的大部分表面被一次又一次地形成和破坏，这样一来，除去了大部分原始的地理痕迹(比如星体撞击产生的火山口)，地球上早期历史部分地被清除了。目前已知的最古老的石头只有 40 亿年，连超过 30 亿年的石头也屈指可数，最早的生物化石则小于 39 亿年。令人遗憾的是，迄今为止仍没有任何确定的记录可以表明生命真正开始的时刻。

伴随着美丽的神话传说，许多科学家也从中受到了很大的启发，《圣经》中关于洪水等重大事件对他们产生了很深的影响，于是，他们认为地球的历史全是由一些巨大的灾变组成的灾变理论应运而生。牛顿的出现，又把演化理论带进了科学界。再后来 1755 年，拉普拉斯(Pierre Simon de Laplace)的“星云假说”，1900 年美国科学家钱伯林(Thomas Chrowder Chamberlin)和莫尔顿(Forest Ray Moulton)又提出了“星子假说”。伴随着新技术的出现，人类对宇宙深处的认知不断加深，关于地球的起源总有新的观点提出来，争论也必然会持续下去。

1.3 地球的结构

直到 16 世纪哥白尼时代人们才明白地球只是一颗行星，而人类对地球认知的脚步从一开始就从未停滞过。随着地球科学的发展，人们通过研究地震、火山活动等自然现象，

根据地震波在地球中传播的变化可把地球由地表至核心分为性质不同的三层。

初步了解了地球的内部构造。而且，地球表面的71%为水所覆盖。地球是太阳系中惟一一颗能在表面存有液态水的行星。我们知道，液态水是生命存在的重要条件。海洋的热容量保持着地球气温相对稳定。液态水同时也造成地表侵蚀及大洲气候的多样化。

地球的大气层由77%的氮，21%的氧，微量的氩、二氧化碳和水组成。地球初步形成时，大气中可能存在大量的二氧化碳，但是几乎都被组合成了碳酸盐岩，少部分溶入海洋或给活着的植物消耗了。大气中稳定存在的少量二氧化碳通过温室效应对维持地表气温有极其深远的意义。温室效应使地表的平均表面气温提高了35摄氏度（从－21摄氏度上升到了适人的14摄氏度）；没有它，海洋将会结冰，而生命将不可能存在。

地球是一个略呈梨形的椭球体，平均半径约6400公里。根据地震波在地球中传播的变化可把地球由地表至核心分为性质不同的三层。如彩图1.2、表1.1所示，最外一层是相当薄的地壳，地壳是地球表面的构造层，只占地球体积的0.8%。厚度为几公里至几十公里。中间一层为地幔，地幔位于地核之上的巨厚的硅酸盐圈层，是地球最重要的组成部分，占地球体积的82%，厚约2900公里。地幔可分成由浅至深的三个部分：上地幔、过渡层和下地幔。地壳与地幔的交界面称为莫霍面。最内一层的球心为地核，半径约3500公里。

地壳表层由很不均匀的岩石组成，大陆地壳由沉积岩、花岗岩和玄武岩组成，而海洋地壳仅有玄武岩，缺失花岗岩。

根据地震波观测发现，地震横波不能通过外核；内核呈现固态。地核物质主要是镍和铁。

地壳厚度变化很大，在海洋下，一般仅为几公里；而在大陆下，平均厚度为30～40公里；在大山脉之下，厚度更大，如我国青藏高原，地壳最厚可达70公里。

表1.1 地球分层

厚度/公里	层
0～40	地壳
40～400	上地幔
400～650	过渡区域
650～2700	下地幔
2700～2890	D′层
2890～5150	外核
5150～6378	内核

一般认为，地幔由较均匀的橄榄岩组成。从莫霍面以下，40～70公里内是岩石层，它与地壳共同组成所谓岩石圈或岩石壳。岩石层以下存在着一个厚约几百公里的软流层。软流层内地震波速明显低于其上下的岩层，这可能是该层因高温高压而具有粘弹性或流变性之故。岩石层与软流层合称为上地幔。上地幔之下为下地幔，颇为均匀。

地核又可分为内核与外核。内核半径约1400公里。外核处于液态，根据地震波观测发现，地震横波不能通过外核；内核呈现固态。地核物质主要是镍和铁。

地球岩层的比重从外向内显著增加。地壳岩石的密度最小，约为(2.7～3.0)克/厘米^3；地幔外层为3.3克/厘米^3，内层为5.7克/厘米^3；外核为9.7克/厘米^3，内核为12.3克/厘米^3。整个地球的平均密度约为5.5克/厘米^3。

地球内部的温度也随深度而增加。

地球内部的温度也随深度而增加。地下 20 公里处温度约为 600 摄氏度，100 公里处约为 1000～1500 摄氏度，700 公里处约为 2000 摄氏度，地核内部高达 4000～5000 摄氏度。地球内部的高温来自放射性物质不断释放的热量。这些放射性物质的分布，在海洋与大陆底部并不相同，因此有一种学说认为由此而来的温度差导致了地幔内物质的蠕动而产生对流。

地球磁场在地球上形成了南磁极和北磁极，磁极与地球极点并不重合，因此产生了磁偏角。在地质历史时期，地球的磁极是游移的，有时甚至出现磁极方向倒转。利用沉积物中铁介质记录的古地磁极位置研究环境的演化，是地质学和地理学的一种常见方法。

1.4 漂移的大陆

地球的地壳由几个实体板块构成，各自在热地幔上漂浮，持续地进行着地壳运动。我们在理论上称之为板块学说。它被描绘为扩大和缩小两个过程。扩大发生在两个板块互相远离，下面涌上来的岩浆形成新地壳时。缩小发生在两个板块相互碰撞，其中一个板块的边缘部分插到了另一个的下面，在炽热的地幔中受热而被破坏。在板块分界处有许多断层（比如美国加利福尼亚的 San Andreas 断层），大洲板块间也有碰撞（如印度洋板块与欧亚板块）。目前有八大板块（彩图 1.3）：

（1）北美洲板块——北美洲，西北大西洋及格陵兰岛；

1912 年，德国地球物理学家魏格纳受大西洋两岸轮廓极其相似的启发，提出了大陆漂移学说。

(2) 南美洲板块——南美洲及西南大西洋；

(3) 南极洲板块——南极洲及沿海；

(4) 欧亚板块——东北大西洋，欧洲及除印度外的亚洲；

(5) 非洲板块——非洲，东南大西洋及西印度洋；

(6) 印度与澳洲板块——印度，澳大利亚，新西兰及大部分印度洋；

(7) Nazca 板块——东太平洋及毗连南美部分地区；

(8) 太平洋板块——大部分太平洋(及美国加利福尼亚南岸)。

早在 1912 年，德国地球物理学家魏格纳受大西洋两岸轮廓极其相似的启发，提出了大陆漂移学说。1911—1928 年，美国人泰勒河贝克也几乎同时发表了大陆漂移说。但由于当时科学资料不足，而没有为多数人接受。直到 20 世纪 50 年代中期，随着科学的发展，发现了更多有力的新资料证明大陆确实在发生飘移，并提出了“板块构造学说”，且为多数地学工作者所接受。

60 年代初，由美国地质学家提出来的板块构造学说以海底扩张说为基础。这一学说认为地壳与上地幔顶部的岩石层可以分为若干大大小小的板块，在地幔软流层之上异常缓慢而又持久不停地漂移，板块之间的相对运动速度平均约为每年几厘米，持续了至少 2 亿年左右。如彩图 1.3 所示，全球地壳分为八大板块，并且各大板块之内还可以划分为较小的板块。这一学说认为：①地幔上部软流层的物质由海岭涌出，推着软流层上总厚约 100 公里的岩石圈在水平方向

大陆漂移的主要证据有四个方面，即大陆地质地形的拼合、岩石中古地磁的痕迹、海岭与海沟的特征以及地震观测数据。

移动并形成新的海底，岩石圈在海沟处又插入到另一部分岩石圈之下，返回软流层。②岩石圈运动的动力来自地幔物质的对流，对流发生于软流层，作用于岩石层的底部而不是地壳底部。海岭形成于对流上升区，海沟形成于对流下降区。③对流循环的形态是地球内部决定的，大陆仿佛坐在传送带上一样，随着岩石层一起流动。当大陆漂移到下降区时，与海洋板块相碰，大陆板块停留在上，海洋板块插入其下而返回地幔。海岭与海沟都是板块的边缘。大陆漂移的主要证据有四个方面，即大陆地质地形的拼合、岩石中古地磁的痕迹、海岭与海沟的特征以及地震观测数据。

2 颤抖的地球

——浅谈地震与地震科学

我们所居住的地球从它形成那一刻起，从来没有停止过转动，地球各圈层也在不断的活动，从而地球在构造运动中逐渐演化成目前海沟深不见底、高山擎天的壮观景象。颤动是由于地球内部的物质分配不断发生变化的结果，通常这是由大地震引起的。地震破坏了地球内部的平衡，虽然不大，却足以使地球在转动的同时颤动一下。每年，地球上都会有不计其数的地震发生，这些大大小小的地震分布于世界各地。大地震可以造成重大人员伤亡和经济损失。

全世界每年都会发生 10～20 次 7 级以上的大地震。

2.1 地震

地震，是人们通过感觉和仪器察觉到的地面振动。它与风雨、雷电一样，是一种极为普遍的自然现象。强烈的地面振动，即强烈地震，会直接或间接造成破坏，成为灾害。地震的能量之大，破坏力之强是其他任何形式的灾害所无法比拟的。公元前 780 年（周幽王二年），“百川沸腾，山冢猝崩”的记载成为我国较早的地震记录之一。“但见土砾成丘，尸骸枕藉”，是对 1679 年三河、平谷 8 级地震后留下的苍凉景象的生动描绘。1906 年厄瓜多尔西海中的 8.9 级地震，是世界上最大的地震之一，其释放的能量为 1.4×10^{25} 焦，约相当于 10 万颗普通原子弹或者 100 颗大氢弹的威力。全世界每年都会发生 10～20 次 7 级以上的大地震。巨大的地震夺走了无数人的生命，顷刻之间大量的财富也随之毁灭。1963 年南斯拉夫斯科普里发生了一次震级不过 6 级的地震，但造成的财产损失达 5 亿多美元。1976 年中美洲危地马拉首都发生 7.5 级地震，据报道所造成的经济损失竟高达 50 多亿美元。表 2.1 列举了世界部分大地震及人员死亡和经济损失情况。

2.2 地震类型

笼统地讲，地震是地球表层的震动。根据震动性质不同，可以分为天然地震、人工地震、脉动三类。天然地震指自

按地震成因不同，又可以将天然地震划分为构造地震、火山地震、塌陷地震及人工诱发地震等多种类型。

然界发生的地震现象；人工地震指爆破、核试验等人为因素引起的地震现象；脉动则是由于大气、海浪等原因引起的地球表面的经常性的微动。能够构成地震灾害的主要是天然地震。

天然地震是地球构造运动的一种表现形式，被称为“活的地质现象”。一次强烈地震的发生，通常伴随着大规模的地震断层或其他地表的破坏；同时，地下岩层所积累的应变能以弹性波的形式向外传播，亦可造成地面的剧烈震动，从而引起建筑物倒塌和人畜伤亡。按地震成因不同，又可以将天然地震划分为构造地震、火山地震、塌陷地震及人工诱发地震等多种类型。

（1）构造地震

由于地壳纵深的某处岩石破裂、错动，把长期积累起来的能量在瞬间急剧释放，能量以地震波的形式由该处向四面八方传播出去，直到大地表面，造成地动山摇，这种地震的直接原因就是地球内部结构构造运动而引起的，故称为构造地震。世界上发生的地震90％以上属于构造地震。

（2）火山地震

火山地震实质上是指因岩浆活动直接造成的地震。由于火山爆发使得地球内部大量的岩浆喷发到地球表面，地球深处的岩浆不能及时补充，从而造成局部地壳表面岩层所受到的内部压力骤减，甚至出现空洞，于是该处地壳表层岩石断裂、塌陷而形成地震。这类地震只占全世界地震的7％左右。

世界上曾发生的部分大地震情况。

表 2.1 世界部分大地震人员死亡及经济损失(342—1988)

年份	发震时间(月-日)	震中位置			震级	深度/公里	备注
		纬度(°)	经度(°)	地点			
342		36.2N	36.1E	土耳其			死亡 4 万人
856	12-3	37.0N	10.0E	突尼斯			死亡 4.5 万人
869	7-13	38.5N	143.8E	日本三陆	8.6		死亡 1000 人
893	3-23	40.0N	44.0E	亚美尼亚德维亚	5.3	5	死亡 3 万人
1038	1-9	38.4N	112.9E	中国山西定襄	7.3		死亡 3.23 万人
1057		39.7N	116.3E	中国北京南郊	6.8		死亡 2.5 万人
1138	9-8	36.1N	37.2E	埃及、叙利亚			死亡 10 万人
1169	2-4	38.1N	15.7E	意大利			死亡 1.6 万人
1201	3	39.0N	25.0E	希腊爱琴海			死亡 10 万人
1202	5-22	33.2N	35.3E	约旦纳布卢斯	6.8		死亡 3 万人
1303	8-8	37.3N	22.1E	埃及开罗	8		死亡 1 万人
1303	9-17	36.3N	111.7E	中国山西洪洞	8	17	死亡 1.5 万人
1556	1-23	34.5N	109.7E	中国陕西华县	8	20～40	死亡 83 万人
1575	12-16	39.5S	73.1W	智利瓦尔维亚	8.5		死亡 1500 人

世界上曾发生的部分大地震情况。

续表

年份	发震时间（月-日）	震中位置			震级	深度/公里	备注
		纬度（°）	经度（°）	地点			
1622	10-25	40.4N	14.1E	中国宁夏固原	7		死亡1.2万人
1650	1-4	38.0N	46.2E	伊朗大不里士			死亡3万人
1654	7-21	34.3N	105.5E	中国甘肃天水	8		死亡1.2万人
1667	12-17	40.4N	47.8E	前苏联阿塞拜疆	6.9	12	死亡8万人
1668	7-25	34.8N	118.5E	中国郯城、莒县	8.5	36	死亡5万人
1679	9-2	40.0N	116.9E	中国三河、平谷	8	20	死亡1万人
1975	2-4	40.7N	122.8E	中国辽宁海城	7.3	12	死亡2041人，损失8.1亿人民币
1976	2-4	15.3N	89.1W	危地马拉	7.5	5	死亡2.3万人，损失50亿美元
1976	5-6	46.4N	13.1E	意大利马迪内	6.5	9	死亡965人，损失15亿美元
1976	5-29	24.5N	98.7E	中国龙陵	7.3	24	死亡98人
1976	5-17	40.4N	63.4E	前苏联乌兹别克	7.3	30	死亡6人，损失约0.85亿美元
1976	7-28	39.6N	117.9E	中国河北唐山	7.8	23	死亡24.2万人，重伤16.4万人
1988	11-6	22.8N	99.7E	中国澜沧、耿马	7.6	10	死亡730人，损失20.5亿人民币

断层活动诱发了地震，地震发生又促成了断层的生成与发育，因此地震与断层有密切联系。

（3）塌陷地震

因地下岩洞或矿井顶部塌陷而引起的地震称为塌陷地震。这类地震的规模比较小，次数也很少，往往发生在溶洞密布的石灰岩地区或大规模地下开采的矿区。

（4）诱发地震

水库蓄水、油田注水等活动所引发的地震称为诱发地震。这类地震仅仅在某些特定的水库库区或油田地区发生。

（5）人工地震

地下核爆炸、炸药爆破等人为因素引起的地面震动称为人工地震。

2.3 地震断层

地震是地球内部物质运动的结果。这种运动反映在地壳上，使得地壳产生破裂，促成了断层的生成、发育和活动。"有地震必有断层，有断层必有地震"，断层活动诱发了地震，地震发生又促成了断层的生成与发育，因此地震与断层有密切联系。

地壳中的断层密如织网。其规模从较小的破裂一直到上千公里的断裂带，深度也各有不同的尺度，断裂带是多条断层的聚合带。

现今仍有活动的断层是活动断层，已停止运动的断层叫休眠断层，或称为"死"断层。

构造地震是由地壳构造运动引起的。在构造地震中最普遍的是由断层活动引起的地震。一种情况是板块生长带

正是由于印度板块与欧亚板块第四纪期间的强烈碰撞，形成我国西部地区的构造、地貌格局，生成了众多强烈活动的断层。

（洋中脊，碰撞带和俯冲带）的张裂、滑动造成应力释放。第二种情况是板内断层带的某些部位，如拐弯点、间断点、雁列区、枢纽点和断层面坑凹起伏较大的地段（专业术语称障碍点和粗糙面），应力比较容易积累，当应力积累超过这些部位的承受力时断层就产生错动，释放能量。第三种情况是由于地壳应力作用方向和强度变化，在一些原来没有断层但介质相对脆弱的地方产生新的断层，释放所积累的能量。总之，断层破裂和错动时的瞬间急剧释放出的能量以弹性波的形式引起地壳振动就构造成了地震。从统计结果看构造地震的分布与现今活动的构造带相一致。

我国西部地区是构造活动最强烈的地区。青藏高原的南、北周缘和天山地区的活断层，晚更新世以来的平均滑动速率分别为56毫米/年、10～14毫米/年和1.5～5毫米/年，均属于强烈活动的A级活断层。另一方面，我国西部地区地震活动周期比东部要短得多。青藏高原南部、天山地区的地震活动周期分别是几十年和100年左右。而东部区是300～400年。造成这种现象的根本原因，一是印度板块与欧亚板块碰撞，二是中国东部向西部的推挤。据地层、古生物、古气候等的研究结果，新第三纪末，青藏高原的海拔高度仅1000米左右。青藏高原平均海拔达到现今4500米以上的高度是最近200万～300万年以来发生的事。正是由于印度板块与欧亚板块第四纪期间的强烈碰撞，形成我国西部地区的构造、地貌格局，生成了众多强烈活动的断层。据古地磁测量，这种碰撞还在继续，印度板块正以5厘米/年的速度向北北东方向运动，使我国西部广大地区遭受强烈的构造

绝大多数强震震中分布于活断层带内。

变形。

因此，横断山脉、喜马拉雅和帕米尔高原已成为世界三大地震带之一的“地中海—喜马拉雅地震带”的一部分，这也正是我国西部成为世界上大陆地震最活跃、最强烈和最集中的地区的根本原因。

我们所说的活断层是第四纪期间，尤其是距今 10 万年来有过活动，今后仍可能活动的断层。其规模可大到板块边界，也可小到仅几十公里长。那么，地震带与活断层有什么关系呢？下述现象能帮助回答这个问题。

（1）绝大多数强震震中分布于活断层带内。全球两个大的地震带（环太平洋带和地中海—喜马拉雅带）都是板块边界大断层带。

（2）破坏性地震所产生的地表新断层与原来存在的断层走向一致或完全重合。如 1906 年美国旧金山发生的 8.3 级地震沿圣安德列斯断层产生 450 公里的地表破裂；我国 1920 年的宁夏海原 8.5 地震、1931 年的新疆富蕴 8 级地震、1932 年的甘肃昌马 7.6 级地震、1970 年的云南通海 7.7 级地震、1973 年的四川炉霍 7.6 级地震、1988 年的云南澜沧—耿马 7.6 及 7.2 级地震等，都产生了与原断层大体重合的新断层。

（3）在许多活动断层上都发现了多次重复的古地震（指有仪器记录以前的地震）。每一条地震断层上地震重复发生的时间即地震重复周期从几百年至上万年。我国建国以来造成灾难最大的唐山 7.8 级地震，其发震断层上也发现了古地震。显然，古地震也是沿断层分布的。

这 40 年来我国发生的 49 次 7 级以上地震，其中有 19 次发生在台湾东部，占 1/3 强。

(4) 大多数强震的极震区和等震线的延长方向与发震断层的走向一致，大地震的前震和余震也沿断层线性分布。

(5) 据震源力学分析（震源机制）得出，震源错动面的产状大部分与地表断层一致。这些自然现象均说明：地震带与活断层有着成因上的密切联系。因此可通过地震带发现和研究活动断层带，而活动断层带的存在和断层作用又是产生地震和地震成带分布的根本原因。

2.4 地震的频率

据统计，40 年来（1950—1990 年）在我国境内（包括台湾省及近海）共发生大于或等于 7 级的地震 49 次，其中大于或等于 8 级的有 3 次，7～7.9 级的共有 46 次（包括 7 级以上的强余震）。3 次 8 级以上地震是 1950 年 8 月 15 日西藏察隅、墨脱间的 8.6 级地震，1951 年 11 月 18 日西藏当雄西北的 8 级地震和 1972 年 1 月 25 日台湾火烧岛以东海中的 8 级地震。这 40 年来我国发生的 49 次 7 级以上地震，其中有 19 次发生在台湾东部，占 1/3 强。从发生的时间分布看，20 世纪 50 年代 18 次，70 年代 21 次，80 年代最少，仅 4 次。

2.5 地震带

地球上那些断层活动最强烈的地质构造带往往就是地震活动带。全球两个大地震带释放的地震能量占全球地震总能量的 95%，是地壳运动最强烈的地带，也是活动板块边

全球大部分地震发生在大板块的边界上，一部分发生在板块内部的活动断裂上。

界的大断裂带。我国的几个地震带，如郯城—庐江地震带、汾渭地震带、东南沿海地震带、北天山地震带等，其本身就是活动断裂带。

全球地震带分布

根据板块学说，地壳被一些活动构造带分割为八个大小不一、彼此相对运动的一级板块(见 1.4 节)。全球大部分地震发生在大板块的边界上，一部分发生在板块内部的活动断裂上。

经研究，全球主要地震活动带有三个(彩图 2.1)：

(1) 环太平洋地震带

即太平洋的周边地区，包括南美洲的智利、秘鲁，北美洲的危地马拉、墨西哥、美国等国家的西海岸，阿留申群岛、千岛群岛、日本列岛、琉球群岛以及菲律宾、印度尼西亚和新西兰等国家和地区。环太平洋地震带是地震活动最强烈的地带，全球约 80%的地震都发生在这里。

(2) 欧亚地震带

该带从欧洲地中海经希腊、土耳其、中国的西藏延伸到太平洋及阿尔卑斯山，也称地中海—喜马拉雅地震带。这个带全长两万多公里，跨欧、亚、非三大洲，占全球 15%的地震。

(3) 海岭地震带

分布在太平洋、大西洋、印度洋中的海岭(海底山脉)。

我国的地震活动主要分布在五个地区的 23 条地震带上。

中国地震带分布

中国位于世界两大地震带——环太平洋地震带与欧亚地震带之间，受太平洋板块、印度板块和菲律宾海板块的挤压，地震断裂带十分发育。20 世纪以来，中国共发生 6 级以上地震近 800 次，遍布除贵州、浙江两省和香港特别行政区以外所有的省、自治区、直辖市。

中国地震活动频度高、强度大、震源浅、分布广，是一个震灾严重的国家。1900 年以来，中国死于地震的人数达 55 万之多，占全球地震死亡人数的 53%；1949 年以来，100 多次破坏性地震袭击了 22 个省(自治区、直辖市)，其中涉及东部地区 14 个省份的地震，造成 27 万多人丧生，占全国各类灾害死亡人数的 54%，地震成灾面积达 30 多万平方公里，房屋倒塌达 700 万间。地震及其他自然灾害对国民经济发展的严重影响与牵制是中国的基本国情之一。

我国的地震活动主要分布在五个地区的 23 条地震带上(彩图 2.2)。这五个地区是：(1)台湾省及其附近海域；(2)西南地区，主要是西藏、四川西部和云南中西部；(3)西北地区，主要在甘肃河西走廊、青海、宁夏、天山南北麓；(4)华北地区，主要在太行山两侧、汾渭河谷、阴山—燕山一带、山东中部和渤海湾；(5)东南沿海的广东、福建等地。我国的台湾省位于环太平洋地震带上，西藏、新疆、云南、四川、青海等省区位于喜马拉雅—地中海地震带上。中国地震带的分布是制定中国地震重点监视防御区的重要依据。

用来衡量地震强度大小的尺子有两把，一把叫地震震级；另一把叫地震烈度。

2.6 地震科学

地震的强度和烈度

1. 强度

每次地震发生后，人们首先想到的问题是“这次地震有多大?”用专业的术语问就是：“这次地震是几级?”也有人问：“这个地震我们这儿是几级?”比如有人在张北 6.2 级地震后，问地震工作者：“张北 6.2 级地震，到北京有多少级?”其实，提问的人把震级与烈度的概念搞混了。用来衡量地震强度大小的尺子有两把，一把叫地震震级；另一把叫地震烈度。地震的震级(magnitude)是表征地震强弱的量度。震级反映的是地震能量的大小。我国使用的震级标准是国际通用震级标准，叫“里氏震级”。一般将小于 1 级的地震称为超微震；大于、等于 1 级，小于 3 级的称为弱震或微震；大于、等于 3 级，小于 4.5 级的称为有感地震；大于、等于 4.5 级，小于 6 级的称为中强震；大于、等于 6 级，小于 7 级的称为强震；大于、等于 7 级的称为大地震；8 级以及 8 级以上的称为巨大地震。地震时震源的能量以地震波的形式向周围传播，造成地面的颠簸和晃动。地震波分为纵波和横波，纵波和横波都是体波，对于地震波而言，纵波最快，横波次之，而面波最慢。震级 M_L 与地震波能量 A_μ 间存在下列关系：

$$M_L = \log A_\mu + R(\Delta) + S(\Delta) \qquad (2.1)$$

震级大小是根据地震仪器记录算出来的，一次地震只有一个震级。

式中：A_μ 是以微米为单位的地动位移，是两水平向最大地动位移的算术平均值，反映了 $S(\Delta)$ 是量归函数，它的物理意义是补偿地震波随距离的衰减，相当于式(2.1)中的 $-\log A_\mu$，也是震中距 Δ 的函数。

公式(2.1)反映地震波能量的对数与震级成正比例的关系。换句话说，就是震级越大，地震释放的能量就越多。震级高一级，能量就要高约 30 倍。如果把一个 8.5 级地震释放的地震波能量换算成电能，相当于一个 120 万千瓦水电站工作近 10 年所发电量的总和。试验还表明，在坚硬的花岗岩中爆炸 2 万吨黄色炸药所释放的能量，只不过和一个 5 级地震差不多。上面所说的能量只是地震波释放的能量，并不是一次地震的全部能量，因为在地震发生过程中，还有一部分能量转变成了热能和岩层发生断裂位移的机械能。

震级大小是根据地震仪器记录算出来的，一次地震只有一个震级。目前世界上记录到的最大地震震级是 1960 年 5 月 22 日发生在南美智利的 8.9 级地震。而地震的震级又是怎么测出来的呢？地震震级是通过地震仪记录来确定的。20 世纪 30 年代，人们找到了通过测量地震仪上记录地震波的振幅来计算地震大小的方法。

2. 烈度

有人发问“张北 6.2 级地震，北京是几级”，这实际上是在问自己所在地受此次地震的影响有多大。这就引出了另一个概念——地震烈度。烈度是表示地震对地面影响和破坏程度的尺度。一次地震只有一个震级，但一次地震对地面的影响程度却受许多因素的制约，所以一次地震在不同地区

一次地震在不同地区的烈度是不同的。一般来说，震中区烈度最大，距震中越近，烈度越大；距震中越远，烈度越小。

的烈度是不同的。一般来说，震中区烈度最大，距震中越近，烈度越大；距震中越远，烈度越小。地震对各地的影响不仅与地震能量及到震中的距离有关，还与各地地质构造、地形地貌和地下水位的高低有关，与建筑物或构筑物的结构、材料、施工质量等也有关。地震烈度还与震源深度有关，震源深度不同，地震破坏程度也不同。一般来说，震源越深，震中烈度越小。一次6级地震，震源深度15公里时要比25公里时的震中烈度高一度。有的地震震级不很高，却因震源浅而造成地面严重破坏。总的来说，一次地震对周围不同地点所造成的影响是不完全一致的，它们之间大致的对应关系如表2.2所示。

表2.2　震级和震中烈度的关系

震级	2	3	4	5	6	7	8	8.5～8.9
震中烈度	1～2	3	4～5	6～7	7～8	9～10	11	12

地震学名词

在过去的500年里，世界上有700多万人在地震中丧生，还有数以亿计的财产毁于一旦。毁灭性的地震灾害对于日益增长的世界人口来说，已经成为头等重要的问题之一，促使科学工作者对这一问题进行深入的研究和探讨，并由此产生了地震学。

科学家们为了更好地研究地震，定义了一些与地震有关

科学家们为了更好地研究地震，定义了一些与地震有关的名词。

的名词，下面进行介绍。

1. 描述地震空间位置的有关概念(彩图 2.3)

(1) 震源：地球内部发生地震的地方；

(2) 震中：地面上与震源相对的地方；

(3) 震中距：地面上任一地点到震中的距离；

(4) 震中区：震中及附近地区，叫震中区，对破坏性地震来说，震中区又叫极震区，是地震破坏最严重的地区；

(5) 震源深度：从震中到震源的距离，或者说震源到地面的距离，叫震源深度；

(6) 地震波：地震时震源的能量以波的形式向周围传播，造成地面的颠簸和晃动，这种波称为地震波，分纵波和横波，纵波的传播速度比横波快。

2. 描述地震大小的有关概念

(1) 地震烈度：地震时地面受到的影响和破坏程度；

(2) 震中烈度：震中区破坏和影响的烈度；

(3) 等震线：地面上相同烈度点的连接线；

(4) 地震震级：根据地震仪测得的地震波振幅，来表示地震释放能量大小的一种量度。有两种标度形式：体波震级(里氏震级)和面波震级。

地震序列

一般把一次强震发生前后一定时间内(几天、几个月或几年)发生的大大小小地震按时间排列起来称为一个地震序列，并根据各个地震序列中大小地震比例关系、能量释放特

一般把一次强震发生前后一定时间内(几天、几个月或几年)发生的大大小小地震按时间排列起来称为一个地震序列。

征等,将地震序列划分为主震型、震群型和孤立型三个类型。

主震:地震系列中最大的一次地震(一般释放的能量占全序列的90%以上);前震:主震前的一序列小地震;余震:主震后的一系列地震。

(1) 主震型:有突出主震的地震序列,主震和最大前震、最大余震的震级相差显著。

(2) 震群型:没有突出的主震,主要能量通过多次震级相近的地震释放出来,前震、余震和主震震级较接近,一般相差在1级以内。

(3) 孤立型:只有极少前震或余震,且与主震震级相差极大,地震能量基本上通过主震一次释放出来。

这里介绍的是典型的地震序列类型,实际序列是很复杂的。

首发强震是指一个地震序列中第一次发生的强震。在它之后还有与它震级相近或稍大于它的地震。所以首发强震既不同于前震,也不同于主震。在震群型地震中常出现这类地震,如1966年邢台地震和1989年巴塘地震。

强余震是指主震后再次发生比主震小0.7级左右的地震。强余震多出现在主震型和震群型的地震序列中。根据强余震距主震时间的长短,又可分为早期强余震和晚期强余震。

通常,地震活动和发震时间分布都具有一定的周期性和重复性。地震活动周期包含平静和活跃两个阶段。由于各个地区构造活动性的差异,地震活动周期长短不同。我国东部(台湾地区除外)地震活动周期普遍比西部长,东部一个周期大约为300年,西部为10～200年,台湾地区为几十年。

纵波、横波传到地面后，沿着地面传播成为面波(L 波)。其特点与横波近似，但速度更慢，在地壳里，面波波速为 3 公里/秒。

总的看来板块边缘地震活动周期较短，板块内部地震活动周期较长。在一个地震周期中还可进一步划分出时间更短的周期，我们称地震幕。地震重复性是指地震原地重复发生的现象。一般说来地震越大，重复时间越长；反之，震级越小，重复时间越短。但不同地震区、带，由于构造活动强弱差异，同一震级地震的重复时间的长短也不一样。据统计，6 级地震重复时间可从几十年到几百年，7 级以上地震的重复时间多在千年以上乃至几千年。

地　震　波

地下岩层断裂错位伴随产生大量的能量释放，造成周围弹性介质的强烈振动，这种振动以波的方式向外传播，即为地震弹性波。地震弹性波有纵波(P 波)和横波(S 波)两种。

(1) 纵波：是振动方向与波的传播方向一致的波。在地壳中传播速度快，到达地面时人感觉颠簸，物体上下跳动。在地壳里，纵波波速为 6 公里/秒。

(2) 横波：是振动方向与波的传播方向相垂直的波。在地壳中横波传播的速度较慢。到达地面时人感觉摇晃，物体为摆动。在地壳里，横波波速为 4 公里/秒。

纵波、横波传到地面后，沿着地面传播成为面波(L 波)。其特点与横波近似，但速度更慢，在地壳里，面波波速为 3 公里/秒。

3 地震为什么会造成灾害

地震是一种自然现象，是由于自然或人为的原因引起大地震动，地震只有对政治、经济以及人民的生命财产造成危害时，才成为地震灾害，因此地震灾害是地震作用于人类社会而形成的社会事件。地震是否成灾及灾难大小，一方面取决于地震本身的条件，另一方面取决于受灾对象——人和社会状况。这意味着，地震能否对人、对社会造成伤害是有条件的。也就是说，同样是地震，可能形成灾害，也可能不形成灾害；即使形成了灾害，灾害的程度也是有区别的。例如，弱震对人类并无影响；发生在渺无人烟的沙漠、海洋或山区的地震，一

地震灾害的形成不是地震自然现象本身，而是它的社会后果——对人类社会造成的破坏。

般来说对人类的影响也不大，深源地震对人类的影响远比同等强度的浅源地震小；在大多数情况下，火山地震、塌陷地震的破坏力要比构造地震小得多。因此，将地震与地震灾害两个概念区分开来具有重要的理论与实践意义。它表明了地震灾害具有双重属性。首先，地震灾害具有自然属性，它起因于地球上地震这种自然现象；然而，地震灾害的形成不是地震自然现象本身，而是它的社会后果——对人类社会造成的破坏。因此，地震灾害是以人和社会为参照系对地震这种自然现象做出的判定，这就是地震灾害的社会属性。

3.1 地震灾害产生的自然原因

地震时，震源释放的巨大能量以地震波的形式向外传播，造成地面强烈的振动，这便是地震灾害产生的直接原因。地震能否造成灾害或造成灾害的大小可以概括为以下三个方面。

地震强度

地震灾害同地震强度、频度呈正相关，地震强度越大，灾害也越大。一般说来，小震无灾，5 级地震可能会造成轻微或一般破坏，6 级地震可能会造成中等破坏，7 级地震可能会造成严重破坏，8 级地震可能会造成特大破坏。地震次数越多，灾害也越重。微小地震对人类几乎无影响。据不完全统计，全球每年大约发生大小地震 500 万次，其中人们能感觉

绝大多数地震未造成灾害，能够造成灾害的只是中强以上地震。

到的仅占1%，能造成轻微破坏的约1000次，而造成巨大破坏的强烈地震不过十几次。可见绝大多数地震未造成灾害，能够造成灾害的只是中强以上地震。单就地震死亡人数来说，据资料统计显示，我国历史上死于地震直接灾害的共有234万余人，其在各震级范围内的分布情况如表3.1所示，可见地震强度是影响灾情大小的重要因素之一。

表3.1　公元前2221年—公元1994年各震级死亡人数分布表

震级	灾情事件次数	死亡人数	所占比例/%	平均死亡人数
≤4.9	201	160	0.01	0.8≈1
5～5.9	716	64522	2.75	90
6～6.9	350	172752	7.38	494
7～7.9	120	577333	24.66	4811
≥8	19	1526472	65.20	80341
合计	1406	2341239	100.00	—

由表3.1可见：

(1) 大于或等于8级的地震死亡人数占死亡总人数的大多数，为65.20%；

(2) 小于或等于4.9级的地震也有人员死亡，平均每次不到1人；

(3) 震级每增加1级次，各震级平均死亡人数约增加1个数量级；

(4) 震级每增加1级次，各震级所占比例增加3倍左右。

发生在人口密集的城市比发生在人口稀少的山区的地震所造成的灾害将重得多。

地震发生的地点

地震发生的地点对地震灾害大小具有制约作用。既使是一次强烈地震，如果发生在远离人们生存的地方，如渺无人烟的沙漠、山区或海洋地区，也不会直接对人和社会造成多大损伤和破坏。如我国自古至今震级最高的地震——1950 年西藏察隅—墨脱地震，其震级高达 8.6 级，但由于地震发生在人烟稀少的山区，死亡人数仅为 3300 多人；再如 1969 年 7 月 18 日发生的一次 7.4 级地震，震中在渤海中，波及区唐山、秦皇岛倒房 1.3 万间，死 9 人，危害较轻。

发生在人口密集的城市比发生在人口稀少的山区的地震所造成的灾害将重得多。1976 年的唐山 7.8 级地震发生在城市地区，属城市“直下型地震”（在大城市及其周围地下发生的地震称为城市“直下型地震”，这类地震往往会造成城市较大的损失。最典型的城市“直下型地震”是 1976 年的我国唐山地震和 1995 年的日本阪神地震），其死亡人数高达 24.2 万人，重伤 16 万 4 千人。该次地震的影响范围很广，波及到天津市、北京市，使人民生命、财产受到巨大损失。极震区的工业建筑物有 70％～80％倒塌或遭到严重破坏，多层砖混结构房屋有 90％倒塌或遭到严重破坏。本次地震中，唐山市区民用建筑中严重破坏和倒塌的达 1116.95 万平方米，占民房总数的 95.53％，其中各类房屋的破坏见表 3.2。

唐山地震的破坏情况。

表 3.2 1976 年唐山地震唐山市区各类房屋破坏统计表

分类	严重破坏和倒塌的建筑面积/万平方米	破坏率/%
住宅	869.46	97.25
办公楼	71.57	88.69
学校	42.72	92.25
医院	19.24	85.54
其他	113.97	90.73
合计	1116.95	95.53

另外，工业建筑物、交通系统、供电系统等受到极大的破坏；土壤液化现象十分突出，而且分布面广，造成桥梁坠毁、土坝坍裂、房屋沉陷倾倒、农田被砂土掩盖以及灌溉系统淤塞等。超过百万人口的工业大城市毁于一旦，瓦砾一片，交通断绝。

再如 1966 年 3 月 22 日邢台发生的 7.2 级地震(群震)，因发生在人口稠密、工农业较发达的河北平原区，地震破坏范围很大，地震瞬间便袭击了河北省邢台、石家庄、衡水、邯郸、保定、沧州 6 个地区，80 个县市，1639 个乡镇，17633 个村庄，使这一地区造成 8064 人死亡，38451 人受伤，倒塌房屋 508 万余间。这次地震袭击了 110 多个工厂和矿山，袭击了 52 个县市邮局，破坏了京广和石太等 5 条铁路沿线的桥墩和路堑 16 处，震毁和损坏公路桥梁 77 座，地方铁路桥 2 座。毁坏农业生产用桥梁 22 座共 540 米。地震造成了山石崩塌。1966 年 3 月 22 日地震发生时，邢台、石家庄、邯郸、保定 4 个地区，发生山石崩塌 361 处，山崩飞石撞击引起火灾 22 处，烧山 3000 余亩。震后次生火灾连续发生。根据邢台、

西部地震释放的总能量是东部总能量的 25 倍，但东部 50 年来的房屋损失却是西部的 3 倍。

衡水、石家庄、邯郸、保定 5 个地区统计，1966 年 3 月中旬至 4 月初，就发生火灾 422 起，烧死 39 人，烧伤 74 人，烧毁防震棚 470 座。在震后短短的时间里，地震谣言和地震误传事件迅速泛滥，仅谣言就涉及河北、河南、北京等 3 个省市、8 个地区、40 个县市，影响面积达数百万人，致使灾区及其邻区广大群众惊慌不安，一度无心劳动，工业产量下降，农业出勤率降低，地震造成的间接损失也是巨大的，成为新中国成立后十大灾害之一。

我国东部的经济比西部发达，人口远比西部稠密，历史上我国西部发生的 8 级地震，其损失远不及东部一次 5 级地震损失严重。研究结果表明，西部地震释放的总能量是东部总能量的 25 倍，但东部 50 年来的房屋损失却是西部的 3 倍。

图 3.1 给出了我国东部、西部地区地震死亡人数和震级之间的关系比较。

地震发生的地点对震灾种类也有制约作用，发生在山区的地震，多伴有滑坡、泥石流等灾害；邻近水域的地震有可能发生水灾。据载，1933 年 8 月 25 日四川茂汶北叠溪发生 7.5 级地震，山崩坠落的土石堵塞在岷江中形成三条石坝，江水断流 45 天，10 月 9 日下午大坝溃决，仅灌县就被冲毁良田熟地 4000 多亩，死亡 1600 多人，洪峰到达 120 公里外的茂汶县，直至距叠溪 260 公里的乐山县。地震造就的两个大小“海子”保留至今，好像在崇山峻岭中镶嵌的蓝宝石，成为游人的一大景观(图 3.2)。

东西部地区死亡人数和震级之间的关系比较。

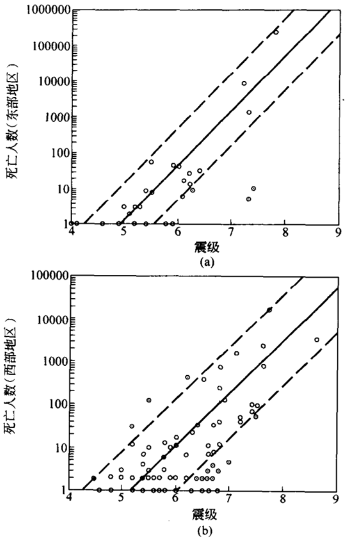


图 3.1　东西部地区死亡人数和震级之间的关系比较

地震发生的时间对震灾大小，尤其是人员死亡具有显著的影响，夜间地震死亡人数比日间地震死亡人数大得多。



图 3.2　1933 年四川叠溪 7.5 级地震引起山崩堵塞岷江积水成湖

地震发生的时间

地震发生的时间对震灾大小，尤其是人员死亡具有显著的影响，夜间地震死亡人数比日间地震死亡人数大得多。由于夜间人多在室内，因房屋倒塌被伤害的可能大得多；而由于天黑行动不便，夜深后人又处于睡眠状态，避震能力比白天弱得多；加之夜间外部抢救能力也比日间差得多，因此夜间地震死亡人数比日间大得多。

对我国 1900 年以来 $Ms \geqslant 6.0$ 级地震进行统计，地震发生在夜间（18～6 时）的平均每次死亡约为 4373 人；地震发生在日间（6～18 时）平均每次死亡约为 639 人。每个地震平均死亡人数，夜间与日间之比约为 7∶1。

据统计，我国发生的死亡人数在 20 万以上的地震共四次，这四次地震均发生在夜间。

据统计，我国发生的死亡人数在 20 万以上的地震共四次（见表 3.4），这四次地震均发生在夜间。

表 3.4　中国死亡 20 万人以上地震简目

序号	地点	时间	震级	震中烈度	死亡人数	
1	山西赵城	1303-09-17	8.0	11	200000	戌时
2	陕西华县	1556-01-23	8.0	11	830000	子时
3	宁夏海原	1920-12-16-20:00	8.5	12	234117	—
4	河北唐山	1976-07-28-03:00	7.8	11	242469	—

1303 年 9 月 17 日，山西洪洞县、赵城发生 8 级大地震，史称河东地震。这次地震是我国历史上第一个有详细记录的地震。由于洪洞人口稠密，农业和文化发达，因此，地震造成的破坏和伤亡极其严重。山西、陕西、河南的几十个府州县的史书对此都有记载。受灾严重的有山西、河南、陕西等地，受灾范围达数千平方公里。利泽渠等大型水利设施受到严重破坏。据吉县《大帝庙碑》记载："河东地震，压杀者二十余万人，屋之存者十之三、四。"《临汾县志》也记载道："子时死者二十余万人，祸甚惨毒。"当时地震灾区人口总共 40 余万，地震的死亡人数达到人口总数的 50%。地震后，元成宗铁穆耳发钞 9.6 万锭，派遣使者前去救济，减免公差和税务，开放山场河湖，听民采捕，以度灾年。震后数年余震不止，水渠震坏，三年后，粮食颗粒无收，人民流离失所，饥寒交迫。

1556年，陕西华县发生8级强烈地震。此次地震在我国历史记载中是灾害极端严重的一次，死亡人口之多，为古今中外罕见。

1556年1月23日，陕西华县发生8级强烈地震。此次地震在我国历史记载中是灾害极端严重的一次，死亡人口之多，为古今中外罕见。101个县遭受了地震的破坏，分布于陕、甘、宁、晋、豫5省约28万平方公里。地震有感范围为5省227个县。震中区为西安市以东的渭南、华县、华阴、潼关、朝邑至山西省永济县等，约2700平方公里。震灾损失极其严重。民房、官署、庙宇、书院荡为废墟；较坚固的高大建筑物，如城楼、宝塔、宫殿全部倒塌。地震造成华阴县城西驻马桥断裂，城北大员村地裂数丈，水涌数尺。大荔县南的紫微观和朝邑西南的太白池在震后干涸。黄河南岸的大庆关和蒲州河堤尽数崩塌。华县凤谷山石泉废为干泉。图3.3展现了现今陕西华县地貌现象。根据各县州府志记载，地震造成的死亡人数约为83万人。曾亲身经历过华县地震的明代官吏秦可大在《地震记》中写道："受祸人数，潼、蒲之死者十七，同、华之死者十六，渭南之死者十五，临潼之死者十四，省城之死者十三，而其他州县，则以地之所剥剔近远分深浅矣。"华县8级地震是在"壬寅夜漏下亥刻，地大震，声如雷，至癸卯丑初乃止"。震动连续发生多次，自午夜起至凌晨方止。时值半夜，人多处于酣睡之中，毫无警觉，特别是夜暗又增加了抢救工作的难度。

有关资料对该次地震的描述为：

秦晋之交，地忽大震，声如万雷，川原坼裂，郊墟迁移，道路改观，树木倒置，阡陌更反。五岳动摇，寰宇震殆遍。陵谷变迁，起者成阜，下者成壑，或岗阜陷入平地，或平地突起山阜，涌者成泉，裂者成涧，地裂纵横如画，裂之大者水火迸出。

有关资料对陕西华县地震的描述。



图 3.3　陕西华县地表形变

井泉涸废，新泉涌流，喷高丈余。山移河徙四五里，涌沙、陷没亘数千里。华山诸峪水北潴沃野，渭河涨壅数日。华县、渭南、华阴及朝邑、蒲州等处尤甚。郡城邑镇皆陷没，塔崩、桥毁、碑折断，城垣、庙宇、官衙、民庐倾颓摧圮，一望丘墟，人烟几绝两千里；四处起火，数日火烟未灭；民天寒露处，抢掠大起。军民因压、溺、饥、疫、焚而死者不可胜计，其奏报有名83 万有余，不知名者复不可数。

地震发生的时间对地震灾害及其次生灾害有很大的影响，干冷的冬季发震，往往易发生冻灾和火灾；在多雨水、炎热的夏季，则有可能发生水灾和疫病流行等。

如上述陕西华县地震，据史料记载，震时正值隆冬，灾民冻死、饿死和次年的瘟疫大流行及震后其他次生灾害造成的死者无数可计。据史料记载，“天屈严寒残身露宿，高天旷野，尘聚数团，雪虐风号，裂肤堕脂，死者无葬，生者无食，啼

我国东部由于建筑物等财产密度远远高于西部地区，因此，东部地区一个低震级的损失常常相当于西部高一级地震的损失。

饥号寒……"

3.2 地震灾害产生的社会原因

地震灾害程度除了与地震本身大小有关外，还与人类社会的发展状况密切相关。

人口、建筑物等财产密度

地震灾害大小同人口密度、建筑物等财产密度和经济发展程度密切相关，人口密度、房屋密度大，震灾就大。我国东部由于建筑物等财产密度远远高于西部地区，因此，东部地区一个低震级的损失常常相当于西部高一级地震的损失，如1990年江苏常熟—太仓5.1级地震经济损失为1.34亿元，与同年甘肃天祝—景泰6.2级地震的损失1.05亿～1.50亿元相当。经济发达、单位面积国民生产总值高，地震造成的直接损失和地震引发的停工停产损失就大。

我国的人口和经济发展程度存在明显的地区差别。若从黑龙江的瑷辉到云南的腾冲作一直线，把我国分为两部分，那么，该线东南部的总面积只占全国的42.9%，人口却占94.4%。东南部同西北部人口密度的差别达22倍以上。1991年新疆、青海、四川、云南、山西、江苏每10万平方公里国土面积上的国民生产总值分别为19.4亿、10亿、229亿、111亿、276亿、1428亿元人民币，其比例为1∶0.52∶12∶5.7∶14∶74。国民生产总值的这种差别是我国地震活动水

国民生产总值的差别是我国地震活动水平虽是西部高但灾害却是东部重的一个重要原因。

平虽是西部高但灾害却是东部重的一个重要原因。

2001 年 11 月 14 日，在新疆、青海交界处的昆仑山口西发生 8.1 级地震，是近几年国内最大的地震之一。震中位于新疆若羌县境内，虽然该次地震震级较大，地表产生重大变形和破坏(图 3.4)，但震中处于人烟稀少的昆仑山中，距离若羌县城 400 公里，距离格尔木市 350 公里，造成的灾害较小。



图 3.4　2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震后在昆仑山山梁上形成的一条长裂缝带

应当指出，随着科学技术的进步，人类抗御地震灾害的能力固然增强了，但是成灾对象(人口、建筑物等财产的类型、数量和密集程度等)增加得更快，因此，在现阶段，地震灾害随着科学技术的进步并不是随之减轻，而是仍呈递增趋势。我们需要随着科学技术的进步、社会经济的发展、防灾

地震监测预报直接监视地震灾害发生的全过程，是做好地震灾害预防、地震应急、地震救灾与重建的前提和基础。

法规的健全和防灾投入的增加，使地震损失同财产总值之比逐渐降低。

工程设防因素

地震灾害是在地震力作用下发生的建筑物、工程设施的破坏、倒塌，并由此造成的人员伤亡和经济损失。据统计，地震时90％～95％的人员伤亡是由于各种建筑物倒塌造成的。因此，各种工程建筑和工程设施，包括工业建筑、民用建筑、大中小型企业工程、生命线工程等，保证工程质量和具备抗震设防能力是减轻地震灾害的关键因素。

地震监测预报水平

准确地预测地震发生的时间、地点和震级，做好地震短临预报，是减轻地震灾害最经济、最有效的方法，也是全世界地震学家所孜孜以求和奋斗的目标。如1975年海城7.3级地震前作出的中期和准确的短临预报，使震区能及时地进行地震应急措施，及时地疏导群众撤离房屋，从而减少几万人的伤亡和40多亿元的经济损失。

地震灾害综合防御的目的是最大限度地减轻地震灾害造成的损失，地震监测预报直接监视地震灾害发生的全过程，是做好地震灾害预防、地震应急、地震救灾与重建的前提和基础。如果离开了地震监测预报，其他环节的工作就必然会存在盲目性，综合防御就会变成无的放矢，不可能达到预

地震灾害的大小还取决于人及社会对地震的预防应对及震后反应状况，即地震的应急工作。

期的效果。

地震预报关系国计民生，通过准确的地震预报，人们可以提前做好地震预防，包括人员的疏散、紧急撤离，经济财产的保护，因此可以避免大量的人员伤亡和经济财产损失。地震预报包括地震发生地点、时间和强度的准确预报，从而能帮助人们及时地做好避灾防灾准备。地震预报的成功与否对社会和国民经济的发展有深远的影响。

地震应急工作

地震灾害的大小还取决于人及社会对地震的预防应对及震后反应状况，即地震的应急工作。即使是一次发生在人烟稠密地方的强震，假如人们能有足够的警觉，能预知地震的发生，并有充分的抵御震灾的应急准备，那么灾害就能大为减轻，甚至不构成灾害。因为地震灾害是作用于人类社会而产生的，所以能否发生灾害，或发生灾害的大小，就不仅取决于地震自身，也取决于人及社会的警觉和防御状况。防御范围包括人们赖以生存的人工建筑物及某些自然物，包括住房、生命线工程及陡壁、山坡等，均应做抗震设防，有足够的抵御强震的能力。

震后救援

强烈地震往往造成大量房屋倒塌，严重威胁人们的生命安全。唐山大地震时，唐山市区幸存者中约80%的人员被压

对震后灾区实行快速的救济救援工作非常关键。

埋在废墟里，其中大部分都是受灾群众通过自救互救活动而脱险的。1983 年 11 月 7 日山东菏泽的 5.9 级地震，房屋倒塌了不少，2 万余人被压埋在废墟里，灾区人民迅速展开自救互救活动。结果不到 2 小时就将 94%以上被埋的人员和大牲畜抢救出来，经过及时治疗生存率达到 99.2%。由此看出，对震后灾区实行快速的救济救援工作非常关键。

2001 年 1 月 26 日印度古吉拉特邦发生的里氏 7.9 级大地震夺走了近 2 万人的生命，数十亿美元的财产顷刻间化为乌有，作为印度最富庶地区之一的古吉拉特邦的经济一下子倒退了 20 年。这次大地震也暴露出印度政府在应对重大突发灾难方面经验不足，处理危机的体制不健全，致使救援工作一度出现延误和混乱。在地震救援中，法国一救援小组 1 月 28 日就已赶到孟买，却因找不到前往灾区的飞机，只好驱车 22 个小时，于次日晚才抵达灾区，错过了最佳救援时机。虽然救灾物资和志愿者源源不断地涌向灾区，但当地政府在组织调度方面措施不力。在重灾区普杰，地震发生一周后仍有 20 万人没有住上帐篷，很多灾民和志愿者只能围着篝火抵御严寒；在灾区城镇救灾物资已经比较充足的同时，一些偏远村庄的灾民还衣食无着落，没有得到一点救济，以至于发生了数起拦抢救援物资事件。

总之，地震灾害是地震这种自然现象作用于人类社会的产物，离开了对人及人类社会伤害和破坏，便无所谓灾害可言。地震与地震灾害的关系可用图 3.5 表示。

地震灾害是地震这种自然现象作用于人类社会的产物，离开了对人及人类社会伤害和破坏，便无所谓灾害可言。

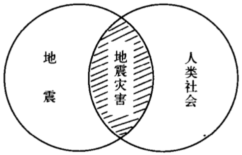


图 3.5　地震与地震灾害的关系

4 如何划分地震灾害类型

地震是如何形成灾害的呢？这是一个对地震成灾机制研究的问题。地震灾害是一个涉及到自然、社会和人类等多方面因素的极其复杂的系统，地震成灾机制研究则是揭示其规律性，探讨地震对人和社会危害的原因、方式和过程，以寻找相应的防灾对策。

4.1 地震灾害的危害性

地震灾害是群灾之首，与其他自然灾害相比，如旱灾、水灾、风灾、泥石流、山崩、农作物虫害等灾害相比，地震灾害具有瞬

地震灾害是瞬时突发性的社会灾害。

间发生、破坏剧烈、次生灾害严重、监测预报困难、社会影响深远等特点。

地震灾害的特点

（1）突发性强，猝不及防

地震灾害是瞬时突发性的社会灾害，地震发生十分突然，一次地震，持续时间往往只有几十秒钟，在如此短暂的时间内造成大量房屋倒塌、人员伤亡，这是其他自然灾害难以相比的。地震可在几秒至几十秒内摧毁一座文明的城市，能与一场核战争类比，事前有时没有明显预兆，以至来不及逃避，造成大规模的灾难。经调查，1976 年唐山 7.8 级地震中数以百计震时夜班工作的幸存者，综合得出极震区地震成灾过程为 13.5 秒（据汪景明，1982），时间短促，猝不及防，地震的爆发与成灾几乎是同时出现的。祖祖辈辈辛勤劳动而建造起来的物质文明和精神文明，毁坏殆尽，亲人之间突然被夺去了生命。由于地震灾害具有这种急骤性、突发性，它往往发生在人们毫无准备的情况下，而一旦觉察到它的发生，几乎来不及做出防范行动。如果发生在夜间，许多熟睡的人们还没有明白是怎么回事时，便已经永远地离开了人间。这加剧了地震灾害的严重性，也加大了地震灾害防范的困难性。

（2）破坏性大，成灾广泛

地震波到达地面以后，造成大面积的房屋和工程设施的破坏，若发生在人口稠密、经济发达地区，往往可能造成大量

一次地震的破坏区虽然有限，有感范围却很大，波及面广，对人们心理上的影响也比较大，这些都可能造成较大的社会影响。

人员伤亡和巨大经济损失。一次强震造成较大破坏的高烈度区(大于或等于12度)范围是很大的。1966年邢台7.2级地震受灾面积6000多平方公里;1976年唐山7.8级地震受灾面积7270多平方公里，1920年海原8.5级地震受灾面积是50000多平方公里。

据有关资料记载，1556年中国陕西省华县8级大地震，死亡83万人;1976年中国河北唐山7.8级大地震，死亡24万多人。据不完全统计，在上世纪，全世界因地震死亡的人数达100多万人，占各种自然灾害死亡总数的54%，平均每年所造成的经济损失高达几十亿美元。

(3) 社会影响深远

地震由于突发性强、伤亡惨重、经济损失巨大，所造成的社会影响也较其他自然灾害更为广泛、强烈，往往会产生一系列连锁反应，对于一个地区甚至一个国家的社会生活和经济活动造成巨大冲击。同时，一次地震的破坏区虽然有限，有感范围却很大，波及面广，对人们心理上的影响也比较大，这些都可能造成较大的社会影响。

例如1976年7月28日凌晨唐山地震，不仅顷刻之间将工业重镇唐山市夷为平地，对京、津地区成严重破坏，而且还震动了华北，震撼了大半个中国。瞬间，数亿人从睡梦中惊醒，心灵上无不笼罩着地震的阴影。唐山地震后，惨重的灾情举国震惊，加之震后的种种误传，人们恐惧心理极为严重，据估计，约有4亿人陆续住进了防震棚。

(4) 防御难度大

与洪水、干旱、台风等气象灾害相比，地震的预测要困难

地震不仅产生严重的直接灾害，而且不可避免地产生次生灾害或间接并联的灾害。

得多。同时，建筑物抗震性能的提高，需要大量资金的投入。要减轻地震灾害，需要各方面的协调与配合，需要全社会长期艰苦细致的工作。因此，地震灾害的防御，比起其他一些灾害更困难一些。

(5) 次生灾害严重

地震不仅产生严重的直接灾害，而且不可避免地产生次生灾害或间接并联的灾害。有的次生灾害的严重程度大大超过直接灾害造成的损失，一般情况下，次生或间接灾害是直接灾害损失的两倍。在次生灾害中，不是单一的火灾、水灾、滑坡、泥石流、瘟疫……地震灾害几乎囊括了各种自然灾害。

(6) 持续时间长

它包含两层意思：一是主震之后的余震往往持续很长一段时间；二是由于破坏大，使灾区恢复和重建周期延长。

(7) 具有某种准周期性

一般来说，地震灾害在同一地点或地区要相隔几十年、上百年或更长时间才能重复发生。地震灾害对同一地区来说具有准周期性。

(8) 地震灾害的损失与社会和个人的防灾意识密切相关

面对地震灾害，需要我们树立社会防灾意识，平时注意加强防灾知识教育，在地震时就能有所准备地及时避灾。震后各项救灾预案的有效实施，可以大大减轻灾害造成的损失。反之，则损失严重。

总之，强烈地震造成震灾的广泛性、毁灭性、猝发性和难

地震灾害对人类造成的影响是巨大的，主要有人员伤亡、财产损失、资源环境破坏、社会经济以及社会秩序等方面。

防备性，给人类带来巨大灾难，从而使减轻地震灾害这一重大课题，越来越受到人们的广泛关注。

地震灾害对人类的影响

地震灾害对人类造成的影响是巨大的，主要有人员伤亡、财产损失、资源环境破坏、社会经济以及社会秩序等方面。

（1）对人员的伤害及影响

地震灾害对人类的伤害和影响，包括人员死亡，生理受伤，心理、精神创伤，以及对居住和生活状况的影响等。

（2）对资源环境的破坏

地震灾害对资源环境的破坏，如造成山体崩塌、滑坡，地表裂缝、塌陷、上隆或喷沙冒水、砂土液化，海水或江湖水激起波浪或积水上漫等，造成森林、土地、水等资源和环境的破坏并带来直接经济损失。

（3）对社会经济的影响

地震灾害对社会经济的影响指地震对社会产生的综合影响，包括对经济功能和社会功能的影响及由此而造成的间接损失，如生产条件破坏造成自然停工停产，因恐震心理造成人为停工停产、人员外流、搭建防震棚等带来的间接经济损失和影响社会安定；地震灾害对社会经济的影响还包括对社会发展的长远影响等。

（4）对社会政治的影响

地震灾害对社会政治的影响在非社会主义国家表现得

地震灾害大体上可分为原生灾害、次生灾害和诱发灾害三大类。

更为突出。1980 年意大利南部地震所造成的巨大损失，迫使内政部长辞职，引起社会秩序混乱。1923 年日本关东大地震后，日本社会秩序混乱，政局动荡，发生了“龟户事件”和“大杉事件”。一些人趁震后混乱之机杀戮旅日朝鲜人。与此同时，震灾引起的金融恐慌愈演愈烈，迫使日本内阁于 1927 年辞职。1980 年，意大利南部地震所造成的巨大损失，迫使内政部长辞职，引起社会秩序混乱。

4.2 如何划分地震灾害

一般来说，地震灾害大体上可分为原生灾害、次生灾害和诱发灾害三大类。

原生灾害

由于地震的作用而直接产生的地表破坏、各类工程结构类的破坏，以及由此而引发的人员伤亡与经济损失，称为原生灾害，原生灾害也称为直接灾害。地震原生灾害是地震的原生现象，如地震断层错动（图 4.1、图 4.2）、大范围地面倾斜、升降和变形以及地震波引起地面振动。地震所造成的原生灾害，主要有：地面的破坏（图 4.4～图 4.6）、建筑物与构筑物的破坏（图 4.3）、山体等自然物的破坏（如滑坡、泥石流等）、海啸、地光烧伤等。原生灾害多发生在震中区，其破坏力大，成灾严重。

世界上有记载的骇人听闻的地震地裂缝出现在 1755 年 11 月 1 日的葡萄牙里斯本 8.8 级地震。



图 4.1　1739 年宁夏银川—平罗地震错断的长城



图 4.2　1931 年新疆富蕴 8 级地震造成的断层

1. 造成人员伤亡

世界上有记载的骇人听闻的地震地裂缝出现在 1755 年 11 月 1 日的葡萄牙里斯本 8.8 级地震，死亡 6 万余人(据张家诚，1986)。据记载，震时地多裂缝，开而复合，坠入裂缝者约 8000 人(据王子平，1989)。中国陕西华县 1556 年 1 月 23

巨大裂缝直接造成的伤亡并不多，但却给人们造成了恐慌，仿佛大地张开了大口，要吞噬掉地面上的一切生灵。

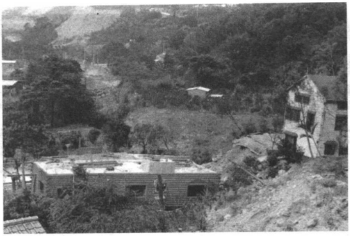


图 4.3　台湾集集地震中断裂切过民宅

日 8 级地震时，据（明）《隆庆华州志》记载，震区华县“地……皆陷，震裂之大者，水出火出，怪不可状。人有坠入水穴而复出者，有坠于水穴之下地复合，他日掘一丈之余得之者”；华阴“地震水涌，人多坠于穴”；“渭南郎中薛祖学陷入水穴者丈余焉”。1920 年 12 月 16 日宁夏海原 8.5 级地震时，海原县关庄有一家人跌入裂缝，裂缝开而复合，全家死亡。河北省三河县 1679 年大地震时也有“骑驴者，坠裂缝无形影”的记载。巨大裂缝直接造成的伤亡并不多，但却给人们造成了恐慌，仿佛大地张开了大口，要吞噬掉地面上的一切生灵。真正跌入裂缝而死者，以及裂缝直接穿过建筑物造成破坏者为数不多。

2. 建（构）筑物破坏

地震造成建筑物破坏，一是地震断层和地裂缝成为动力源使其周围一定范围内的地质体发生位移，产生局部的形变

建筑物破坏是造成人员伤亡、经济损失的一个很主要的原因。



图 4.4　2003 年 9 月 27 日日本北海道钏路的道路在地震后出现了很大的裂缝

场和应力场，并通过地基作用于建筑物引起建筑物破坏；二是地震产生的强烈地震波引起建筑物的强迫振动，振动产生的惯性力（地震力）附加到建筑上引起破坏。应该说，建筑物破坏是造成人员伤亡、经济损失的一个很主要的原因。1976 年唐山 7.8 级大地震，倒塌房屋 530 万间；1974 年永善 7.1

地震灾害图。



图 4.5　某次地震中的地裂缝



图 4.6　台湾集集地震中某中学的操场，
断层通过造成地表隆起

建筑物的破坏机理是地震产生的地震波引起地面和地面上的结构强迫振动。

级地震，云南四川两省共有 6.6 万间房屋受到破坏，其中倒塌 2.8 万间；1985 年 3 月 29 日发生在四川省自贡市的地震，虽然震级只有 4.8 级，也倒塌了房屋 400 余间，还有更多的房屋受到不同程度的破坏。

观测表明，首先，位于地震断层和地裂缝上的建筑物结构的破坏，一是地裂缝时断层相对沉降差产生的，二是水平方向的拉张和错动造成的，三是砂土液化引起地基失效从而引起上部结构破坏倾倒。断层使建筑物破坏（图 4.7）、沿线农田开裂（图 4.8）、道路变形（图 4.9、图 4.10）、管道破裂（图 4.11），等等。



图 4.7　唐山地震中被断层错断的桥梁

其次，建筑物的破坏机理是地震产生的地震波引起地面和地面上的结构强迫振动。这种振动产生的惯性力称为地震力，而地震力的大小取决于地震力的特性（幅值、频谱特

地震引发的断层。



图 4.8　断层错开农田



图 4.9　断层错开道路

地震引发的地表错动。



图 4.10　唐山地震中道路水平错动 11 米，地裂缝宽约 5 米



图 4.11　台湾集集地震中台中县石冈乡石冈坝
引水管道被断层截断右移 1.7 米

地震时建筑物的破坏和倒塌绝大多数是地震动的惯性效应造成的。

征、持时)及结构本身的动力特性(自振周期、振型、阻尼特征)。当地震力超过建筑物承受能力时,建筑物如房屋建筑、工程设施、水坝堤防等就会破坏,地震时建筑物的破坏和倒塌绝大多数是地震动的惯性效应造成的(唐山地震建筑物破坏(图 4.12、图 4.13)、台湾集集地震建筑物破坏(图 4.14)、土耳其地震建筑物破坏(图 4.15)及墨西哥地震建筑物破坏(图 4.16))。这种破坏是造成人畜伤亡最直接、最主要的原因,也是社会财富损失的重要原因。



图 4.12　唐山地震中开滦矿务局 64 号住宅楼破坏
(上面两层完全塌落在底层上)

第三是地震动的次生效应,由地震引起的山崩、泥石流、滑坡等使河流堵塞或改道,引起水灾,冲毁房屋等,或由地震引起火灾,烧毁房屋等,这些内容将在下面次生灾害部分

地震对建筑物的破坏。



图 4.13　唐山地震中开滦矿务局总医院倒平



图 4.14　台湾集集地震中毁坏的高层建筑

地震中倒塌的建筑物。



图 4.15　土耳其地震中倒塌的建筑物



图 4.16　1985 年墨西哥地震中，某医院混凝土大楼倒塌得像一堆卡片，近 1000 名患者和医务人员死于此劫

对社会生活和生产有重大影响的交通、通讯、供水、排水、供电、供气、输油等工程系统称为生命线工程，它就像人体的血管和神经一样，非常重要。

叙述。

3. 生命线工程的破坏

对社会生活和生产有重大影响的交通、通讯、供水、排水、供电、供气、输油等工程系统称为生命线工程，它就像人体的血管和神经一样，非常重要。强烈地震可能使桥梁断裂、路面开裂下陷、铁路扭曲、电缆拉断、管道破裂，也可能使发电厂、变电站、水库、大坝、配气站、油库、自来水厂、电信局、电视台、电台等要害部门遭到破坏，从而使现代化的城市瘫痪。1976 年唐山大地震使得该区铁路、桥梁等重要干线遭受毁坏(图 4.17～图 4.19)。1999 年台湾集集地震破坏了铁路、公路交通干线(图 4.20、图 4.21)。1995 年日本阪神 7.2 级地震，高架桥部分倒塌，三条高速公路和著名的"新干



图 4.17　唐山地震中京山线轨道严重弯曲

地震中毁坏的大坝和公路桥。



图 4.18　唐山地震中滦河大堤裂缝中局部地段陷落达 4 米

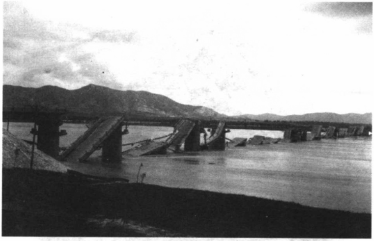


图 4.19　唐山地震后破坏的滦县滦河公路桥

地震中毁坏的铁路和路面。



图 4.20　台湾集集地震中断层引起铁路变形



图 4.21　台湾集集地震中破坏的路面

地震中破坏的码头和交通干道。



图 4.22　日本阪神地震中某码头被破坏

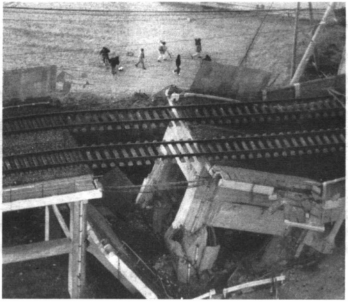


图 4.23　日本阪神地震中三阳新干线被破坏

其他的原生灾害一般表现为地表破坏，常见的有山崩、滑坡、地裂、坍塌、喷砂、冒水等。

线”铁路完全中断，100 万户停电，120 万人停水，城市生命线工程受到严重破坏（图 4.22～图 4.24）。



图 4.24　日本阪神地震中阪神高速路东部由于纵向运动过大，支撑柱被压坏，桥面落梁

4. 其他

其他的原生灾害一般表现为地表破坏，常见的有山崩、滑坡、地裂、坍塌、喷砂、冒水等。如图 4.25、图 4.26 所示，唐



图 4.25　唐山地震中发生山石崩落

地震次生灾害是指因地震诱发而产生的其他灾害，一般是指建筑物或自然物遭地震破坏后而导致的其他灾害。

山地震中所发生的灾害因素。



图 4: 26　唐山地震中滦县农田液化，喷水冒砂淹没农田

次生灾害

地震次生灾害是指因地震诱发而产生的其他灾害，一般是指建筑物或自然物遭地震破坏后而导致的其他灾害，其打

城市是各种生命线工程高度集中的地区，地上地下各种管网密布，地震次生灾害尤为突出，国内外历次大地震都有不同程度的表现。

乱了社会与自然原有的平衡状态或正常秩序，从而导致一系列继发性异常现象形成灾害，由于工程结构物的破坏而随之造成的诸如地震火灾、水灾、毒气泄漏与扩散、爆炸、放射性污染、海啸、滑坡、泥石流等灾害，称为地震次生灾害。例如由于强烈地震使山体崩塌，形成滑坡，泥石流；水坝、河堤决口造成水灾；震后流行瘟疫；易燃易爆物的引燃造成火灾、爆炸，或由于管道破坏造成毒气泄漏以及细菌和放射性物质扩散对人畜生命造成威胁，等等。城市是各种生命线工程高度集中的地区，地上地下各种管网密布，地震次生灾害尤为突出，国内外历次大地震都有不同程度的表现。

次生灾害对人类造成的危害有时也是十分严重的，甚至超过了原生灾害。

首先是地震火灾。房屋倒塌后火源失控、煤气泄漏、油管破裂或因电线漏电而导致起火，同时由于震后消防系统受损，社会秩序混乱，火势不易得到有效控制，而往往酿成大灾。1906 年 4 月 18 日美国旧金山 8.3 级地震，供水系统破坏，火炉翻倒引起大火，并持续三天三夜，10 平方公里市区化为灰烬，火灾造成的损失比直接损失高 3 倍。1923 年 9 月 1 日日本关东地震，伤亡 142807 人，其中死于震后火灾的约达 10 万人。地震后几秒钟，大火蔓延，烧毁房屋 44 万多座，在这次地震中直接死于建筑物倒塌者，不过数千人。1964 年 6 月 19 日，日本新潟 7.5 级地震，油库受震起火，大火烧了 360 小时，直至原油烧尽，300 多所民房、工厂无一幸免。1966 年 3 月 22 日宁晋 7.2 级地震中，距离震中 100 多公里的太行山多处出现岩石崩落，岩块互相撞击引起山火 22 起，

地震后，山崩滑坡堵塞河道，形成"地震湖"，会使上游一些地区被水淹没。

烧山1200余亩。1995年1月17日，在日本神户东南的兵库县淡路岛发生7.2级地震，此次地震死亡人数达到5466人，3万多人受伤，几十万人无家可归，受灾人口达140万人，被毁坏房屋超过10万栋，生命线工程和公共设施遭到严重破坏，地震造成的经济损失总计超过960亿美元。这次地震中除房屋倒塌引起大量伤亡外，最严重的是地震火灾。由于煤气管道破裂，使煤气泄露，引起200多处熊熊大火。房屋设计中木结构材料过多，大量使用易燃装饰材料，更增加了火灾造成的损失(图4.27～图4.30)。



图 4.27　日本阪神 7.2 级地震后的火灾

其次是地震水灾。地震后，山崩滑坡堵塞河道，形成"地震湖"，会使上游一些地区被水淹没。一旦地震湖溃决，下游

地震中的火灾。



图 4.28　日本阪神地震中被烧毁的街区

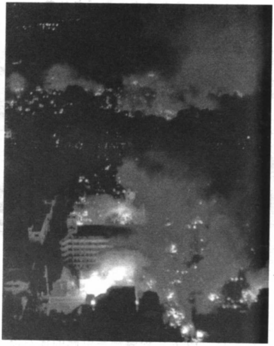


图 4.29　日本阪神地震中多个街区着火

地震中的火灾。



图 4.30　日本神户地震后多处着火

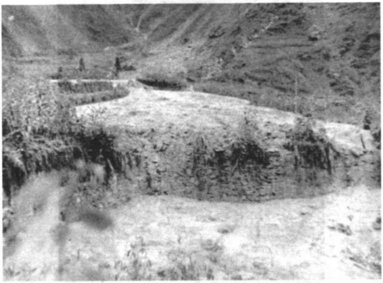


图 4.31　1976 年松潘地震引起的泥石流

中毒也是震后极易发生的次生灾害。

便会遭到严重水灾。另外，地震时，河堤、水库大坝遭到破坏，也会造成水灾。1786 年 6 月 1 日四川泸定发生 7.5 级地震，大渡河沿岸山崩，引起河流阻塞，断流 10 日后，河道溃决，高数十丈的洪水汹涌而下，淹没民众十余万。1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级地震，开滦矿供电中断，涌水量猛增，矿井被淹，造成我国煤炭工业史上最严重的一次水患。1971 年美国洛杉矶发生 6.6 级地震，该市最大的水坝产生裂缝，威胁了下游安全，迫使下游 8 万多居民紧急搬迁。

地震水灾较为严重的一次当数 1933 年 8 月 25 日四川叠溪 7.5 级地震，地震造成的滑坡、山崩使岷江三处堵塞，形成三大"地震湖"。其中第三堰坝顶部厚约 300 米，高约 100 米，是三个堰中最坚固、最庞大、蓄水最多的堰。三个堰坝使岷江断流 43 天，江水逆流 20 多公里，使岷江上游沿江淹没，45 天后湖水溃决，水头高达 20 米，势不可挡，两小时冲出 60 公里。洪峰到达 120 公里外的茂汶县，直至距叠溪 260 公里的乐山县。沿江村镇、关堡之房屋、城墙被一卷而光，这次水灾淹死 2500 余人，毁房 6800 多处，毁田 7700 多亩，死牲畜 4500 多头。

中毒也是震后极易发生的次生灾害。地震引起厂房、仓库倒塌，贮存有毒物质的容器破坏，致使毒气、毒液及放射性等有毒物质逸出而造成灾害。1978 年 1 月 14 日日本伊豆大岛近海地震，使位于东京西南 160 公里处的矿业公司的一个蓄水坝开裂，被氰化物污染的巨量泥水排入附近的持越河和狩野川河，致使 10 万条鱼中毒死亡。1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级地震中，某化工厂阀门破坏，溢氯毒死 5 人。

在特殊的地理环境下，地震引起泥石流造成的灾害损失和人员伤亡也是巨大的。

在特殊的地理环境下，地震引起泥石流造成的灾害损失和人员伤亡也是巨大的。1976 年 8 月 16 日和 23 日，在四川省北部松潘、平武之间相继发生了两次 7.2 级强烈地震，地震引发的泥石流使松潘、平武、南坪、文县等县遭到破坏(图 4.31)。1970 年 5 月 31 日秘鲁安卡休州近海发生一次 7.6 级地震，附近的法斯卡山峰因地震发生岩崩，形成了巨大的泥石流，其时速 250～400 公里，体积约 1 亿立方米。被泥石流冲埋的死亡人数至少有 1.8 万人，连同因地震造成建筑物倒塌而死亡的人数共达 7 万人。1994 年 6 月 6 日，哥伦比亚西南部的帕埃斯河谷发生地震，并引发泥石流，造成约 1000 人死亡。

诱发灾害

地震诱发灾害又叫地震衍生灾害或三次灾害，指因地震灾害造成的政治、经济、社会等方面的职能失调，社会秩序混乱，停工停产而造成的重大损失或由地震灾害引发的各种社会性危害称为诱发灾害，常见的有瘟疫和饥荒等。近代社会还容易出现经济失调、停工停产、社会秩序混乱以及由心理恐惧、创伤造成的一些灾害，如盲目跳楼避震、自杀造成的伤亡等。

诱发灾害如计算机网络系统控制失灵，造成记忆毁灭，指挥系统和生命线系统失控，灾民基本生产需求无法保证，伤亡人员得不到及时救治，社会治安恶化等系统的不正常反应。

地震的次生灾害及三次灾害加重了地震直接灾害的损失，有时次生灾害或三次灾害甚至大大超过地震的直接损失。

1979年7月9日，江苏溧阳发生6.0级地震，死亡41人，重伤654人。其中在死亡的41人中，被慌乱不堪的人群踩死的就有9人，占22%。距溧阳震中85公里的镇江市，发生了多起跳楼事件，造成12人重伤。1984年南黄海地震，距震中130公里的上海市和85公里的南通市，因惊慌跳楼，造成50余人摔伤，50人致残。

在地震时，一些反动组织和恐怖分子也会借机活动，引起人们的惊慌，从而导致灾害发生。

1976年8月16日四川松潘、平武地震时，安县红光村一个叫"一步登天道"的反动会道门借机制造谣言，说什么"现在劫难已转到四川，要发生大地震，四川要成为汪洋大海"，蛊惑60多人集体跳入水塘，"等神仙派船来接"，造成40多人溺水死亡的严重恶果。1980年7月20日，香港《明报》发表题为《勘探石油发现地下是空矿大洞，闽南地区盛传大地震》的署名报道，声称"这次大地震将在八月发生"，地点在"闽南泉州地区"，"强度在8级以上"。当天，香港法新社发出电讯，香港《星岛日报》、《香港时报》等多家报纸也相继作了报道，信息发出，人心浮动，许多人大吃大喝，抢购商品，提取存款，还有不少职工擅离工作岗位外出避震，导致工业、外贸产值波动，侨汇大幅回落，外事旅游受到严重影响。

地震的次生灾害及三次灾害加重了地震直接灾害的损失，有时次生灾害或三次灾害甚至大大超过地震的直接损失。1923年9月1日，日本关东大地震引起大火，10万(有报道说7万)多人在火灾中丧生。1920年我国海原8级大地震，因滑坡和泥石流死亡10多万人，超过地震原生灾害。

世界历史上死亡人数最多的1556年我国陕西华县8级大震，死亡83万人，实际上，其中的70多万人是死于次年的瘟疫和饥荒。

不同的地震灾害，成灾机制也是不同的，例如，在城市发生的地震，其次生灾害、诱发灾害较其他地区的地震更为严重，其中，地震火灾往往是最为严重的次生灾害。著名的1906年美国旧金山8.3级地震，其火灾造成的损失比直接损失高3倍。成灾机制的差别，可以对地震灾害的大小产生重要的影响。对成灾机制的研究和分析可以使我们了解地震对人和社会造成灾害的原因和条件，并可通过适当的防范措施减轻地震灾害，尤其是地震造成的次生灾害和诱发灾害。例如，世界历史上死亡人数最多的1556年我国陕西华县8级大震，死亡83万人，实际上，其中的70多万人是死于次年的瘟疫和饥荒，而1976年唐山大地震虽然时值盛夏，但由于有关部门及时采取防疫措施等，震后并未出现严重的疫情。

5 地震与海啸

每隔一两年，地球上就会发生一次严重的大地震，由深海地震或是地壳崩塌而引起的灾难性海啸出现的频率其实并不是很高，根据历史记录，曾经发生过的数次大型海啸往往出现在一些看似平静的地带。2004年末的灾难性海啸就是由一场震级高达8.9级的大地震引发，全球绝大多数海啸专家都对这场世纪灾难的到来全无防备。这次海啸波及了东南亚和南亚十几个国家(图5.1)，造成几十万人死亡和重大财产损失。这是自1964年3月以来世界上发生的最强烈地震，此次海啸也是1900年以来这一地区发生的最大海啸。此次事

海啸是一种具有强大破坏力的海浪，深海地震、火山爆发或海底塌陷和滑坡等大地活动都可能引起海啸。

件的发生再次向全世界人们敲响了警钟，自然灾害依然是人类生存的最大威胁。

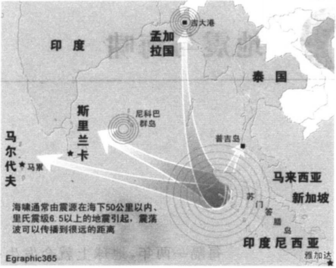


图 5.1　2004 年 12 月 26 日印度洋地震海啸影响区

5.1　地震、海啸

什么是海啸

海啸是一种具有强大破坏力的海浪(图 5.2)，深海地震、火山爆发或海底塌陷和滑坡等大地活动都可能引起海啸。

深海大地震使得海底地层发生断裂，部分地层出现猛然上升或者下沉，由此造成从海底到海面的整个水层发生剧烈“抖动”。这种“抖动”与平常所见到的海浪大不一样：海浪

海啸到达岸边，“水墙”就会冲上陆地，对人类生命和财产造成严重威胁。



图 5.2 海啸巨浪

一般只在海面附近起伏，涉及的深度不大，波动的振幅随水深衰减很快。地震引起的海水“抖动”则是从海底到海面整个水体的波动，其中所含的能量惊人。

海啸时掀起的狂涛骇浪，高度可达 10 多米至几十米，形成“水墙”(图 5.3)。另外，海啸波长很大，可以传播几千公里而能量损失很小。由于以上原因，如果海啸到达岸边，“水墙”就会冲上陆地，对人类生命和财产造成严重威胁。

海啸的产生

海啸是一种灾难性的海浪，通常由震源在海底下 50 公里以内、里氏震级 6.5 以上的海底地震引起。在一次震动之后，震荡波在海面上以不断扩大的圆圈传播到很远的距离，正像卵石掉进浅池里产生的波一样。海啸波长比海洋的最大深度还要大，轨道运动在海底附近也没受多大阻滞，不管海洋深度如何，波都可以传播过去。

世界上的海啸大多是发生在深海沟地带，那里本来地势起伏就很大，水又很深，再发生变化，这种特别长大的波浪就容易形成了。



图 5.3　地震造成的海啸

全球地震海啸发生区的分布基本上与地震带一致。破坏性较大的地震海啸平均六七年发生一次，其中约80%发生在环太平洋地震带上。当海底地震导致海底变形时，变形地区附近的水体产生巨大波动，海啸就产生了。

是不是只要海底发生地震就会出现地震海啸呢？不一定。因为有些地震发生时造成的地形起落并不显著，不能激起这种巨大的波浪。同时我们还要看到一点，如果那里海水很浅，海底地势本来比较平缓，那么即使地震时地形有所变化，但因海水起落变化不大，也不易产生这种波长特别长的大浪。因此世界上的海啸大多是发生在深海沟地带，那里本来地势起伏就很大，水又很深，再发生变化，这种特别长大的波浪就容易形成了。是不是发生于深海沟的地震都能造成

海啸产生的巨浪可能是一个或多个，其间可能间隔几分钟或几小时。地面震动并伴随突然退潮往往是海啸发生的先兆。

海啸呢？也不一定。有人研究了许多海啸发生的条件后得到这样的规律：沿深海沟发生地震时，如果震级大于 6.5 级，震源深度在 25 公里以内，才有可能产生造成危险的海啸。当然，在自然界中情况是复杂的，也还可能有特殊的变动。譬如有时因地震引起海底发生山崩，或者海底火山爆发，产生的地震震级可能不高，但却可能产生巨大的海啸。这些海啸虽不是地震直接造成的，但都与地震有关。

在开阔海面海啸波高度很低，海啸波在大洋中移行时，波长可达数十或数百公里，波高仅为 1 米左右，周期 2～200 分钟。海啸的传播速度与它移行的水深成正比。在太平洋，海啸的传播速度一般为每小时二三百公里到上千公里。海啸不会在深海大洋上造成灾害，正在航行的船只甚至很难察觉这种波动。海啸发生时，越在外海越安全，因此，准备靠岸或者停靠在岸边的船只要及时向外海开就可以化险为夷。

一旦海啸进入大陆架，由于深度急剧变浅，波高骤增，可达 20～30 米，这种巨浪可带来毁灭性灾害。海啸携带海底沉积物、船只、树木等重物一直冲入海岸线以上几百米的地方。海啸登陆时的速度可达每小时 160 公里。

海啸产生的巨浪可能是一个或多个，其间可能间隔几分钟或几小时。地面震动并伴随突然退潮往往是海啸发生的先兆。另外，海啸并不总是以巨浪的形式登陆，它们更有可能是快速涨潮，伴随着水下漩涡，可以把人卷入水下，并卷起重物，有时可以吞没整个海滩。

海啸可分为4种类型，即由气象变化引起的风暴潮、火山爆发引起的火山海啸、海底滑坡引起的滑坡海啸和海底地震引起的地震海啸。

地震海啸的类型

海啸可分为4种类型，即由气象变化引起的风暴潮、火山爆发引起的火山海啸、海底滑坡引起的滑坡海啸和海底地震引起的地震海啸。地震海啸是海底发生地震时，由于海底地形急剧地升降变动，引起的海水强烈扰动。海水先向突然变低洼的地方涌去，随后翻回海面，形成一种特别长的大浪，两个波峰之间的距离，可达100公里以上。它在开阔的深水大洋中运动时，速度特别快，可达每小时七八百公里，但这时波涛并不特别汹涌，因为波峰之间距离那样长，起落变化就不明显了，只是到了滨海，高大的巨浪冲上陆地，这就是我们看到的地震海啸。其机制有两种形式："下降型"海啸和"隆起型"海啸。

(1)"下降型"海啸：某些构造地震引起海底地壳大范围的急剧下降，海水首先向突然错动下陷的空间涌去，并在其上方出现海水大规模积聚，当涌进的海水在海底遇到阻力后，即翻回海面产生压缩波，形成长波大浪，并向四周传播与扩散，这种下降型的海底地壳运动形成的海啸在海岸首先表现为异常的退潮现象。1960年智利地震海啸就属于此种类型。

(2)"隆起型"海啸：某些构造地震引起海底地壳大范围的急剧上升，海水也随着隆起区一起抬升，并在隆起区域上方出现大规模的海水积聚，在重力作用下，海水必须保持一个等势面以达到相对平衡，于是海水从波源区向四周扩散，

海啸是一种具有强大破坏力的海浪。

形成汹涌巨浪。这种隆起型的海底地壳运动形成的海啸波在海岸首先表现为异常的涨潮现象。1983 年 5 月 26 日，日本海 7.7 级地震引起的海啸属于此种类型。

海啸的危害

海啸是一种具有强大破坏力的海浪。它汹涌澎湃，波浪达数十米，形成“水墙”，冲上陆地所向披靡，对生命和财产造成严重的灾难性破坏。

下面一句话描述了海啸发生时的情景：剧烈震动后，巨浪呼啸，以摧枯拉朽之势，越过海岸线，越过田野，迅猛地袭击着岸边的城市和村庄。港口所有设施，被震塌的建筑物，在狂涛的洗劫下，被席卷一空。事后，海滩上一片狼藉，到处是残木破板和人畜尸体(图 5.4)。图 5.5～图 5.8 反映了印度洋海啸前后沿海变化情况。



图 5.4　海啸扫过印度尼西亚弗洛勒斯岛后的情景

目前，人类对地震、火山、海啸等突如其来的灾变，只能通过预测、预警等防御措施来预防或减少它们所造成的损失，但还不能控制它们的发生。

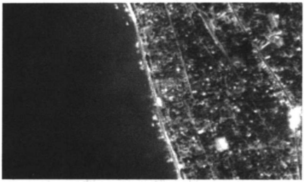


图 5.5　海啸到来前，斯里兰卡沿海的卫星照片

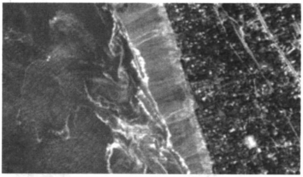


图 5.6　海啸到来后，斯里兰卡沿海的卫星照片

目前，人类对地震、火山、海啸等突如其来的灾变，只能通过预测、预警等防御措施来预防或减少它们所造成的损失，但还不能控制它们的发生。

地震海啸分布

地震海啸多发生在海沟、岛弧和年轻的褶皱带等地区。

人们视海沟为海啸的“潜伏所”。



图 5.7　海啸到来前



图 5.8　2004 年 12 月 26 日印度尼西亚亚齐省首府班达亚齐海滨受灾后卫星图片（摘自新华网）

这些地区构造差异运动大，如沿智利海岸的安第斯山、日本岛弧山系高达千米以上，濒临的海沟深达万米，高差达几公里至十几公里，新构造运动强烈，地震断层倾滑可能性大，所以人们视海沟为海啸的“潜伏所”。

太平洋周围一带的深海沟附近，是强烈地震多发的地

在太平洋中，平均 10 年发生一次海啸级别为 4 级（最大涌高 20 米左右）的地震海啸，平均每 3 年发生一次 3 级（最大涌高 10 米左右）的地震海啸。

方，因而也是海啸发生得最多的地方，像智利、秘鲁、日本、阿拉斯加半岛、堪察加半岛等靠近太平洋的滨海一带，以及一些岛弧附近，都是地震海啸的重要发源地。

在大西洋和印度洋中，地震不如太平洋周围一带强烈，因此地震海啸也不那么显著。但也发生过很有影响的一次，就是 1755 年发生于葡萄牙首都里斯本附近的地震所引起的海啸。这次地震和海啸给里斯本造成了巨大的损失，在 6 分钟内竟致死亡 6 万多人。当它传到加勒比海的时候，浪高还在 5 米以上。但以后再未发生过这样强烈的海啸，直到 2004 年 12 月 26 日印度洋 8.9 级地震所引发的海啸造成几十万人死亡。

地中海内希腊附近的科林斯湾，在 1963 年 2 月 7 日发生过一次奇特的海啸，它是 5 天前的一次小地震触发了海底山崩所产生的，造成了一定损失。

从公元 358 年至今，全球发生近 5000 次破坏性地震海啸，经统计，约有 85%的地震海啸分布在太平洋中的岛弧—海沟地带，其他 15%主要分布在大西洋的加勒比海、印度洋中的阿拉伯海以及地中海等地。

在太平洋中，平均 10 年发生一次海啸级别为 4 级（最大涌高 20 米左右）的地震海啸，平均每 3 年发生一次 3 级（最大涌高 10 米左右）的地震海啸，平均每年发生一次 2 级（最大涌高 5 米左右）的地震海啸，零级（最大涌高 1 米左右）地震海啸平均每年 4 次。

一谈到地震海啸，似乎就意味着灾害，其实并不是所有的地震海啸都能造成灾害。这不仅因为有些海啸达不到造

海啸威力如此之大，所以提前预警非常重要，这样才能赢得提前撤离的时间，减少人员伤亡和财产损失。

成灾害的规模，同时还和受到海啸袭击的地方的具体情况有关。同一次海啸，在甲地造成灾害，到乙地就不一定造成灾害，所以世界上经常受到海啸威胁的总是限于夏威夷、智利、日本等少数地方和国家。夏威夷群岛本身没产生过什么地震海啸，但因它位于太平洋中，四面产生的海啸都可以向它袭来。它又是一堆孤立在大洋中的火山岛，周围没有辽阔的浅滩及众多的礁石作掩护，海啸一来就容易冲上岸。特别是夏威夷的希洛湾，形如漏斗，外宽里窄，海水冲进时便会壅高，加大了海啸的声势。如果海啸冲击的方向正好与港湾的开口方向一致，其剧烈的程度就会更为巨大。这些规律，在别的地方也是适用的。

像日本、智利这种地方，本身就是容易发生地震海啸的场所，距离近，当然受到的威胁就大，特别是它们濒临着很深的海沟，离陆地不远的地方海水就已很深，海啸可以在还保持着很大的能量时就扑上岸。如果岸边有宽阔的大陆架，海浪在前进的路上，会因与海底摩擦而失去不少能量，海边的岛屿、暗礁也起着防波堤的作用，等到它冲到岸边时已成强弩之末，不能造成什么危害了。我国沿海就是这种情况，所以尽管 1960 年智利大地震造成的海啸很大，对菲律宾乃至日本这些地方都造成了灾害，但对我国却没有什么影响。

5.2 海啸预报

海啸威力如此之大，所以提前预警非常重要，这样才能赢得提前撤离的时间，减少人员伤亡和财产损失。由于地震

预警早一分钟就可以挽救成千上万人的生命，可以说海啸预警是在与死神抢时间。

波沿地壳传播的速度要远比地震海啸波运行速度快，所以海啸是可以提前预报的。

1964 年国际上就成立了全球海啸警报系统协调小组，太平洋由于海啸多发，所以海啸预警系统很发达。印度洋由于历史上很少发生海啸，近百年来又没有发生过大的海啸，所以没有国家参加海啸预警系统，根本没有海啸预警网络，因此 2004 年印度洋海底 8.9 级大地震引发的海啸对印度洋周边国家造成重大伤害，就在所难免了。其实 2004 年印度洋大地震发生 15 分钟后，太平洋海啸预警中心就从檀香山分部向参与联合预警系统的 26 个国家发布了预警信息。如果印度洋也有预警系统，人们就能利用从发震到海啸登陆这 90 分钟的时间差，做好各种防御准备，从而挽救近 30 万人的生命。预警早一分钟就可以挽救成千上万人的生命，可以说海啸预警是在与死神抢时间。

海啸预警的发展

1948—1986 年，夏威夷海啸预警中心一共发出了 20 个海啸警报，但其中 15 个都没有发生。为了提高海啸预警的精度和速度，日本和美国在其周边海域部署了 20 个能实时监测海浪高度的浮标，但这个系统至今未受实战考验。

太平洋海啸预警系统已经默默运行了近 40 年，它的前身是日本在 1941 年成立的海啸预警中心和美国在 1948 年组建的夏威夷地震海啸警报系统。1960 年智利大海啸和 1964 年阿拉斯加大海啸爆发后，海洋专家意识到海啸并不

海啸的预报难度很大，主要原因是目前的技术还不能准确预报地震，加之并不是所有的海底地震都能引发海啸。

只是在局部地区产生灾害，而是有可能造成更大范围的甚至是全球性灾难，“不能只顾门前雪”，必须成立一个覆盖太平洋周边国家的国际性海啸预警系统。在政府间海洋学委员会（IOC）的敦促下，法国、澳大利亚、韩国、新西兰、俄罗斯、中国、中国香港等 26 个成员先后加入了这个预警系统。

遗憾的是这种合作没能继续下去。由于资金和技术的种种原因，除了有史以来海啸发生次数最多的太平洋外，第二严重的地中海、第三严重的大西洋和最少记录的印度洋至今都还没有建立这种预警机制。灾难偏偏就在“最安全”的印度洋发生了，乐观的估计和不投入防灾资金的侥幸换回的是更惨烈的损失。在灾难发生的第三天，印度政府宣布加入太平洋海啸预警系统。联合国在 2005 年 1 月 7 日表示，将成立一个“国际预警计划署”。2005 年 1 月 25 日，我国外交部将牵头组织“中国-东盟海啸预警研讨会”，以加强应对自然灾害的区域合作。

海啸预报的困难

海啸的预报难度很大，主要原因是目前的技术还不能准确预报地震，加之并不是所有的海底地震都能引发海啸，太平洋地区仅有 1/4 左右的海底强震（震级大于 7 级）会产生海啸。同时，海啸发生后，也很难实时准确地获取其初始状态的地震参数和海啸源参数。

2004 年 12 月 26 日印度洋苏门答腊发生了海底地震，地震发生的几分钟内，印度国家地球物理所的地震学家们就已

海底地震产生的频率也是较高的，一般都在 7.5 级左右或以下，7.5 级海底地震引起的海啸波涛通常不会超过 5 厘米，所以海底地震往往不大引人注意。

观测到了地震波，他们估计此次震级为 8 级（实际为 8.9 级），但是并没有料到此次地震会引起巨大海啸，因而没有向政府发出海啸灾难预警。上午 8 点，海啸已经通过撞击尼科巴群岛和安达曼群岛袭击印度 1 个小时了，印度地球物理研究所的新闻发言人还在向媒体保证：苏门答腊事件不会对印度次大陆构成威胁。与此同时，在毗邻的斯里兰卡，科学家在这个国家惟一的地震监测站得出了同样的结论："我们知道地震已经发生了，但根本没想到这会影响到我们。"

海底地震产生的频率也是较高的，一般都在 7.5 级左右或以下，7.5 级海底地震引起的海啸波涛通常不会超过 5 厘米，所以海底地震往往不大引人注意。此次强度高达 8.9 级的印度洋苏门答腊海底地震是 40 年来未有过的，导致大海啸是必然的，但当地科学家和官员都忽视了。之所以未意识到这场灾难性海啸，还在于印度洋极少发生海啸，在过去 250 年中，有记录的海啸不超过 6 次，且都未造成巨大的人员伤害。印度洋沿岸国家也没有海底地震引发海啸的监测系统。如果在海底地震时就发出警报，或许会挽救不少人的生命。此次，印度东部和斯里兰卡的许多灾难，都是在地震触发海啸后两小时才造成的。

我国海啸预警机制现状

我国东濒太平洋西岸，太平洋上的台湾岛屿及日本海岛屿一带是地震多发地带。因而我国也可能是地震海啸袭击的地区，尽管我国海区外围有成串的岛屿、暗礁环绕，形成了

我国台湾沿海，尤其是台湾东部沿海，海啸的威胁不容忽视，尤其是由近海地震引起的局地海啸，应给予高度关注和重点监视。

一道抵抗海啸的天然屏障。我国历史上有关海啸最早的文字记录为公元前 47 年 9 月发生在渤海莱州湾的地震海啸。专家们认为，从历史记录和科学分析来看，远洋海啸对我国大陆沿海影响较小，但我国台湾沿海，尤其是台湾东部沿海，海啸的威胁不容忽视，尤其是由近海地震引起的局地海啸，应给予高度关注和重点监视。

自 20 世纪 70 年代以来，我国加强了对海啸的研究和预报力度。1983 年我国加入了国际海啸警报系统，此后国家海洋环境预报中心开展了我国的海啸预警报业务。根据太平洋海啸警报中心发布的有关越洋地震海啸信息，随时发布我国沿海的海啸预警报。20 世纪 90 年代后期，国家海洋局组织开发了太平洋海啸资料数据库、太平洋海啸传播数值预报模式和越洋、局地海啸数值预报模式。该模式在我国广东大亚湾、浙江秦山和三门、江苏连云港、福建惠安 5 个核电站的环境评价中得到了应用。

印度洋大海啸发生后，国家海洋局迅速启动了相关研究，建议国家有关部门通力合作，继续加强海啸灾害的监测预警能力建设；完善海啸应急响应预案，建立快速沟通的信息互通机制，共同做好海啸防灾减灾工作；开展海啸风险评估，制作重灾区海啸淹没图，并加大海啸发生、发展等基础理论和预警预报技术研究力度；加强与发达国家开展海啸预警预报技术合作研究，积极参与各国间海啸预警报合作活动，并发挥我国作为国际太平洋海啸警报系统成员的作用；在全社会开展预防海啸灾害的宣传教育和法制建设，并在海啸严重地区进行海啸防灾减灾演习，减少海啸损失。

海啸的传播速度为每小时 500 英里。

5.3 海啸自救对策

海啸是海底地震或海底火山爆发引起的水体振动。在太平洋深水区，海啸的传播速度为每小时 500 英里[①]。海啸呈现的形式是一系列的水波，间隔 15 分钟至 1 小时以上，其中第 3 至第 8 个波是最大的。一般情况下，第 1 个波类似巨浪，袭上岸可带来许多海鱼，景致也很壮观，人们往往对此景观着迷，错误地走向岸边，而不是向相反方向撤离，因此，当海啸巨波再次涌来时已来不及躲避。海啸发生的最早信号是地面强烈震动，沿岸居民发现海面显著下降或巨浪袭来时，应尽快撤离。一旦落水，应尽可能寻找漂浮物，同时又要设法避开其他漂浮物，以防被撞击。落水者应尽可能保存身体能量，采取仰卧位，尽量减少动作，能浮于水面即可，不要举手或挣扎，举手反致使身体下沉。如水温很低，不可脱衣，除为接近高处、船只、救生人员或抓靠物体外，不要游泳，以防体温迅速散失。

如炎热气候下落水者干渴时，切不可饮海水，海水不但不解渴，反致使人出现幻觉、精神失常甚至死亡。

长期在海边生活的居民，或者是到沿海旅游的游客，要具有一些有关地震海啸自我防护的意识和常识，包括：

（1）地震是海啸最明显的前兆。如果你感觉到较强的震动，不要靠近海边、江河的入海口。如果听到有关附近地

---

① 1 英里＝1.6093 公里。

海啸有时会在地震发生几小时后到达离震源上千公里远的地方。

震的报告，要做好防海啸的准备，注意电视和广播新闻。要记住，海啸有时会在地震发生几小时后到达离震源上千公里远的地方。

（2）海上船只听到海啸预警后应该避免返回港湾，海啸在海港中造成的落差和湍流非常危险。如果有足够时间，船主应该在海啸到来前把船开到开阔海面。如果没有时间开出海港，所有人都要撤离停泊在海港里的船只。

（3）海啸登陆时海水往往明显升高或降低，如果你看到海面后退速度异常快，应立刻撤离到内陆地势较高的地方。

（4）每个人都应该有一个急救包，里面应该有足够72小时用的药物、饮用水和其他必需品。这一点适用于海啸、地震和一切突发灾害。

（5）一旦发生落水事故，落水者应尽可能靠拢在一起，以便互相鼓励、互救及易于被发现。互救时要防止溺水者紧抱缠身，如被紧抱应放手自沉，使溺者离开，再救。长时间海水浸泡使人体温下降，因此落水者被救后，应尽快将其放入40摄氏度左右的温水中，使全身被温水浸泡而迅速复温，不要采用局部加热或按摩的办法，更不能给落水者喝酒，那样只会使体温散失更快。给落水者喝热糖水，能增加体内热量。对于溺水者，应清除口鼻内杂物，将其腹部置于救护者屈膝的大腿上，按压背部，将水倒出。如呼吸停止，应做人工呼吸。如心跳停止，则人工呼吸与胸外心脏按摩同时进行，不能只急于控水。人工呼吸往往要做几小时，直至溺者自主呼吸和心脏功能恢复或出现尸斑确已死亡为止。落水者若有其他创伤，应采取止血、包扎、固定等急救措施，伤重者须急送医院。

6 如何减轻地震灾害

“防震减灾”是防御和减轻地震灾害的简称。防震减灾活动是涉及整个社会的一项系统工程，可分为地震预报、地震灾害预防、地震应急、震后救灾与重建四个环节，综合防御是我国防震减灾的基本对策，而防震减灾工作是减轻地震灾害的根本性措施。

本章将概要介绍防震减灾工作中的基本概念，一些重要的内容将在后面的章节中予以详细的说明。

6.1 总体性措施

灾害的减轻措施在总体上可以分为灾

地震灾害预测是制定地震减灾规划、地震应急方案和我国实现防震减灾十年目标的一项基础性工作。

前和灾后两部分，前者可概括为 4P：规划(planning)，预报(prediction)，预防(prevention)，预警(pre-warning)；后者可概括为 4R：搜索救人(rescue)，救济(relief)，安置(修复)(resettlement，rehabilitation)，重建(reconstruction)。其中预测、预防和应急救灾是减轻地震灾害的三个最重要环节。

预　　测

震害预测是指在地震危险性分析和地震区划或小区划及工程建设易损性分析的基础上，针对全国或某一地区未来某一时段内地震可能造成的人员伤亡和建(构)筑物及工程设施破坏等经济损失以及分布的估计。地震灾害预测是制定地震减灾规划、地震应急方案和我国实现防震减灾十年目标的一项基础性工作。震害预测工作通过估计可能遭受到的地震破坏情况，有的放矢地对薄弱环节实行抗震加固措施，使有限的资金尽可能发挥最大的社会和经济效益，制定出适用于本地区，具有针对性、科学性、可操作性强的防震减灾规划与对策，将地震造成的损失减少到最低程度。

当前科学技术的水平还不可能精确地预测地震发震的时间、地点和震级，也不能精确地估计地震灾害的程度，但可以对未来地震的灾害和损失做出估计，指出某一地区一旦发生所预报的地震时，最可能出现的震害种类、分布、严重程度以及由此可能造成的损失。

震害预测主要包括：地震危险性分析，即地震对房屋建筑物、构筑物、水工建筑和工程设施、生命线工程系统、次生

地震灾害预防是指震前所做的防御性工作，包括工程性防御措施和非工程性防御措施。

灾害、人员伤亡和无家可归人数以及对经济产生冲击的预测等。

预测对象可以是工程的单位，群体系统，也可以是城市、乡村或企事业单位。根据我国的震害调查，地震造成人员伤亡和经济损失的各种原因是房屋建筑的破坏和倒塌，因而，房屋建筑是我国目前震害预测的重点。

预　　防

地震灾害预防是指震前所做的防御性工作，包括工程性防御措施和非工程性防御措施。工程性防御措施主要是通过加强各类工程的抗震能力来减轻地震给人民生命和财产造成的损失；非工程性防御措施是指各级人民政府以及有关社会组织和个人在工程性防御措施之外采取的依法减灾活动，二者相辅相成，缺一不可。

国内外大量的震害经验表明，破坏性地震引起的人员伤亡和经济损失，主要是由于建筑物工程设施的破坏和倒塌造成的。采取工程性预防措施是防御和减轻地震灾害损失的直接和有效途径。非工程性预防措施是指除工程性预防措施之外的一切依法减灾活动。主要包括：根据震情和震害预测结果，编制防震减灾规划；开展防震减灾知识宣传教育，增强全民减灾意识，提高公民在地震中的自救、互救能力；编制本行政区域内的《破坏性地震应急预案》，做好各项震前准备及在地震重点监视防御区设定救灾资金和物资储备等工作。

破坏性地震发生后，地震应急工作及时、高效、有序地开展，可以最大限度地减轻地震灾害，减少人员伤亡和经济损失。

应急救灾

地震应急是指为了减轻地震灾害而采取的不同于正常工作程序的紧急抗震救灾和抢险行动，是为应对突发性地震事件而采取的震前应急准备、临震应急防范、震时应急指挥和震后应急求援等应急反应行动。地震应急是防震减灾工作的一项重要内容。破坏性地震发生后，地震应急工作及时、高效、有序地开展，可以最大限度地减轻地震灾害，减少人员伤亡和经济损失。近年来，国务院高度重视地震应急工作，成立了国务院抗震救灾指挥部，并修订印发了《国家破坏性地震应急预案》。

破坏性地震应急预案应包括的主要内容是：(1)应急机构的组织和职责；(2)应急通信保障；(3)抢险求援人员的组织和资金、物资准备；(4)应急、救助装备的准备；(5)灾害评估准备；(6)应急行动方案。

通过制定破坏性地震应急预案，政府和社会能够有目的地做好地震应急准备工作，保证高效、有序地开展地震应急防御和抢险救灾工作，防止次生灾害的发生或扩大，迅速恢复社会正常生产和生活秩序，最大限度地减轻地震灾害造成的人员伤亡，减少经济损失。

墨西哥、日本关西、土耳其和印度在大地震时由于没有地震应急指挥技术系统，造成应急混乱，延误救灾。总结震后的教训，墨西哥城，日本关西的兵库县、大阪、神户市等地相继建立了该系统，加强了应急反应、指挥能力。图 6.1 为

国外的地震应急指挥体系。

美国的应急技术系统简介。

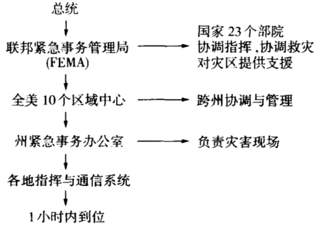


图 6.1　美国地震应急指挥体系

6.2　具体性措施

具体性防震减灾措施包括诸多方面，大致可分为工程性和非工程性措施，其中工程性措施最为主要。

工程性措施

工程性措施包括：抗震设防是建设工程防御与减轻地震灾害的重要措施；建设工程必须按抗震设防要求进行抗震设防；区划图(或地震动参数)是一般工业与民用建筑抗震设防的要求；重大工程和可能发生严重次生灾害的工程必须依据地震安全性评价进行设防；在具体实施中把好抗震设

建设工程进行抗震设防是地震灾害防御中最主要的工程性措施，对提高全社会抗御地震灾害的能力，减轻地震灾害损失起着十分重要的作用。

计、施工的各个环节，确保工程质量。

工程结构是造成直接地震伤亡的载体，因此，加强工程结构抗震设防，提高现有工程结构的抗震能力的工程性措施是减轻灾害的重要手段。我国的防震减灾法中有明确的规定，要求重大建设工程和可能发生严重次生灾害的工程必须进行地震安全性评价，并据评价结果确定抗震设防要求，进行抗震设防。

建设工程进行抗震设防是地震灾害防御中最主要的工程性措施，对提高全社会抗御地震灾害的能力，减轻地震灾害损失起着十分重要的作用。大量的震害数据表明，地震造成的人员伤亡和经济损失80%以上是由于未进行抗震设防的建筑物倒塌造成的。建筑物进行抗震设防则可大大减轻地震灾害造成的损失。所以，建筑物科学合理的抗震设防是防御和减轻地震灾害损失的有效途径。

（1）地震安全性评价

地震安全性评价系指对具体建设工程地区或场地周围的地震地质、地球物理、地震活动性、地形变等的研究，其采用地震危险性概率分析方法，按照工程应采用的风险概率水准，科学地给出工程规划和设计所需的地震动参数和基础资料等抗震设防要求。

地震安全性评价的主要内容包括：地震烈度复核、设计地震动参数的确定（加速度、设计反应谱、地震动时程曲线）、地震小区划、场区及周围地震地质稳定性评价、场区地震灾害预测等。经审定通过的地震安全性评价结果，即可确定为该具体建设工程的抗震设防要求。

重大工程与生命线工程指大型的水电站、核电站、通信、交通及供水供电设施等。

（2）重大工程与生命线工程的抗震设防

重大工程与生命线工程指大型的水电站、核电站、通信、交通及供水供电设施等，这些设施的地震破坏，危害性大，损失严重，有时会造成城市功能的瘫痪，因此，对重大工程与生命线工程，相应的抗震设防要求需要更高。

非工程性措施

非工程性措施包括：尊重科学，面对地震；编制防震减灾规划，全面规划防震减灾工作；大力加强防震减灾知识的宣传普及教育工作；适时组织防震演练，提高全社会地震应急能力；做好家庭、学校、公共场所的防震准备；增强风险意识，积极参加地震保险等。

非工程性防御措施是通过增强全社会的防震减灾意识、提高公民在地震灾害中自救、互救能力，以减轻地震灾害。非工程性防御措施主要是指在工程性防御措施之外，各级人民政府以及有关社会组织依法从事的减灾活动，包括建立健全减灾工作体系，制定防震减灾规划，开展防震减灾宣传、教育、培训、演习、科研以及推进地震灾害保险，救灾资金和物资储备等工作。做好地震灾害预防工作对增加全社会的防震减灾意识和提高抗御地震灾害的能力有着极其重要的意义。以下重点介绍法律措施。

考虑到防震减灾的重要性、长期性，以及所涉及的诸多部门与诸多方面，必须通过法律来约束和调整各方面各部门的关系，使之有法可依。

法律保障

纵观人类遭受地震灾害的历史，特别是20世纪70年代以来多次强烈地震给人类带来的巨大灾难，人们不能不得出这样的结论：地震已成为当今社会最大的自然灾害之一，人们要真正认识、预防和战胜它，仍然是今后一项长期而艰巨的任务。考虑到防震减灾的重要性、长期性，以及所涉及的诸多部门与诸多方面，必须通过法律来约束和调整各方面各部门的关系，使之有法可依。

为了防御与减轻地震灾害，保护人民生命和财产安全，保障国民经济建设的顺利进行，我国已经对防震减灾工作进行了立法。目前我国已实施的与地震相关的法律法规已多达十几种，包括《中华人民共和国防震减灾法》、《破坏性地震应急条例》、《地震监测设施和地震观测环境保护条例》、《地震预报管理条例》等。另外，各省、市、自治区根据本地区的地震工作情况也出台了一系列与防震减灾法律、法规相配套的地方性法规体系。

1997年12月29日，第八届全国人大常委会第二十九次会议审议通过了《中华人民共和国防震减灾法》，江泽民主席签署第94号令正式予以公布，自1998年3月1日起施行。这是一部规范全社会防御与减轻地震灾害活动的重要法律。

《中华人民共和国防震减灾法》的制定为我国防震减灾领域中各项工作和活动的法制化提供了法律依据，是依法治国、健全和完善社会主义法律体系的重要举措。制定《中华

《中华人民共和国防震减灾法》的制定为我国防震减灾领域中各项工作和活动的法制化提供了法律依据。

人民共和国防震减灾法》的直接目的是为了使防震减灾领域中的各项工作和活动规范化和制度化，保证防震减灾工作和活动“有法可依”；其根本目的是通过依法调整防震减灾领域中的各种社会关系，进一步推动我国防震减灾事业的不断发展，实现防震减灾的社会功能。

最后需要说明的是，即使有了健全的法律法规，如果不能很好地执行，那么再健全的法律法规也只是一纸空文。比如，土耳其制定有关条文的时间与智利差不多，以后又制定了一系列与综合防震减灾有关的法规，如“灾区建筑规范”、“自然灾害法”，等等。但在 1992 年，土耳其东部的埃尔津詹市，发生了一次 6.8 级地震，损失很大。因此，虽然土耳其综合防震减灾的法律法规是比较健全的，但在执法过程中的检查制约机制不完整，以致质量差和违章的建筑不能得到及时控制。因此，必须建立健全并严格执行防震减灾法才是减轻地震灾害的重要途径。

6.3 高新技术在减灾中的作用

高新技术的应用是减轻地震灾害的重要手段，它在当今自然灾害和社会灾害的预防和减轻中起到了非常重要的作用。在防灾减灾领域中应用的高新技术主要包括：3S(GPS、GIS、RS)技术、新型材料技术、健康诊断、数字减灾系统，等等。

GPS、GIS 和 RS 在防震减灾中的重要作用。

3S 技 术

"3S"即 GPS、GIS 和 RS。

GPS 即全球定位系统，它对于防震减灾有着重要的应用价值，比如应用 GPS 技术监测活断层的现今运动状态和构造应力场状态，在地震活断层两侧布设 GPS 网和水准测量网，经过两期以上复测，可获得地震活断层现今滑动速率、滑动方式和发展趋势等方面的信息。利用地壳形变测量资料单独反演或者将地壳形变测量资料与震源机制解、地质学资料结合起来进行联合反演，都可得到该城市的应变和应力场状态参数。地震活断层的运动学参数和区域应变-应力场状态参数是进行地震活动、地震危险性评价的重要依据。

GPS 可以实现对量测点的准确定位，对于地表垂直方向的上升或者形变十分敏感，可用于监测断层活动。GPS 已经成为监测活断层的重要工具，缺点是只能获得稀疏的为数不多的站点的测量值。

GIS 即地理信息系统。GIS 技术是进行图形、图像处理和编辑、信息快速查询、分析决策的先进工具。应用 GIS 技术将城市活断层探测和地震危险性评价的各种成果，构建城市地震活断层及其危险性的基础数据库和地理信息系统，可供城市建设规划、土地管理与综合利用、重大工程选址、建筑抗震设防、震后灾害快速评价、政策决策和救灾指挥使用。

RS 即遥感技术。遥感技术在地震工程中应用很广泛，比如，应用遥感技术可以进行活断层的调查，还可以制作地

将"3S"技术与其他技术有机地结合起来，不仅可以提高工作效率、节约投资，而且可以获得更准确的信息。

图，这在城市活断层探测和危险性评价各阶段的工作和研究成果都是必须要使用的，另外还可以利用遥感技术对震害进行快速的评估，等等。高分辨率遥感数据更可以作为防震减灾的重要手段，比如 Quickbird 卫星影像分辨率达到 0.61 米，很容易分辨出道路、桥梁、建筑物等震害评估所需要的基本要素。尤其值得一提的是，干涉雷达技术在测量同震形变场中的强大能力，通过两景不同时相的雷达影像就能检测出厘米一毫米级的形变，这项技术在过去十年已经日趋成熟，通过进一步的改善技术，甚至有望监测断层缓慢的运动，直接服务于地震预报。

从以上可以看出，"3S"技术在防震减灾中可以发挥重要作用。如果在这项工作中应用好"3S"技术，充分发挥"3S"技术的作用，并将"3S"技术与其他技术有机地结合起来，不仅可以提高工作效率、节约投资，而且可以获得更准确的信息，提高成果的技术含量和成果质量，提高防震减灾工作的综合能力，实现高效快速的防震减灾效能。

新型材料的应用

与传统的建筑材料不同，新型材料的质量大都比较轻且强度也较高，所以有利于结构的抗震以及减轻地震灾害造成的损失。

VPR 乙烯基聚酯树脂，应用在混凝土中的玻璃钢加强筋，其整体性好，抗震效果好，VPR 玻璃钢轻质高强，可以减少建筑物的重量，减少地震造成的危害，节省建筑材料及基

加气混凝土是以硅、钙材料为基础，引入发气剂，经湿高压处理后的新型建筑材料。

础建筑结构。

在常规的钢筋混凝土中，各种腐蚀性气体、腐蚀剂、防冻剂和盐等与钢筋接触后生锈膨胀，导致混凝土开裂，减少了钢筋混凝土的使用寿命，在化工污染严重地区、海岸建筑、海洋结构件、水边码头的建筑物受到的腐蚀尤为严重。而玻璃钢钢筋混凝土是用玻璃钢钢筋代替普通钢筋来增强混凝土，可大大提高混凝土结构的综合性能和使用寿命。玻璃钢钢筋混凝土是近年来国外开发的一种新型建筑材料，展示了良好的发展前景和应用潜力。目前一般通过拉挤成型制作玻璃钢加强筋，其中较常用的基体树脂为环氧树脂和乙烯基酯树脂和一部分不饱和聚酯树脂，考虑到混凝土本身及一些介质的腐蚀性、经济性，以及玻璃钢加强的各种力学性能强度等，VPR 乙烯基聚酯树脂是最佳的选择。

加气混凝土是以硅、钙材料为基础，引入发气剂，经湿高压处理后的新型建筑材料。它具有容重轻、强度高、保温性能好、隔热等特点，加气混凝土用作围护结构时，对于提高抗震性能，增加建筑物使用面积，减轻建筑物重量，降低工程造价，加快工程进度，都有很广泛的应用前景。

建筑结构的健康诊断

结构的健康诊断对于结构的安全性评价以及加固改造有着十分重要的作用。结构的健康诊断就是对各种结构的工程质量进行检测和评估，即对结构的作用、结构抗力及相互关系进行测定、检查、试验、分析和判断，确定结构的质量

结构的健康诊断对于结构的安全性评价以及加固改造有着十分重要的作用。

情况，合理确定其使用范围或给出是否维修改造加固的结论性过程，它既包括对旧有的建筑物的可靠性的评估和正在使用的结构情况做出鉴定，也包括结构受灾（如地震、冲击、振动、风、爆破、火灾和化学腐蚀等）后的结构性能变化的确定，同时也包括新建或在建的建筑结构的质量性能诊断，如新建房屋的质量评估、质量事故缺陷分析、一些特殊结构的质量分析，如大体积混凝土结构基础、大坝混凝土温度裂缝防治的诊断等。在时间上，既包括对特殊结构建筑设计的施工前诊断，也包括施工过程中的质量诊断和使用过程中的质量诊断。

在进行建筑结构设计时，虽然要求在正常条件下和预定使用时间内能满足设计所赋予的功能要求，但建筑物在使用过程中的实际情况是不同的，如使用条件、环境条件和地震、火灾、台风等偶然事件，以及建筑物地基不均匀下沉，结构温度变化，屋面荷载超载，都是在设计时难以周密预计的随机变量。因此，建筑物在使用过程中经常产生这样或那样的问题，危机生活、生产与安全，迫切要求进行健康诊断。通过对结构进行健康诊断，尽早发现并解决存在的问题，对减轻地震灾害有着不可低估的作用。

数字减灾系统

数字减灾系统（digital disaster reduction system，DDRS）旨在利用当今的高新技术，如遥感技术（remote sensing）、全球定位系统（global position system）、地理信息

数字减灾系统实际上就是要实现一种虚拟与现实结合的、探索自然灾害数字化、信息化的计算机智能系统。

系统(geographic information system)和计算机网络技术,采用多维虚拟现实技术(virtual reality),用数学和物理模型进行数字仿真,模拟灾害发生、传播的全过程,既能为社会的减灾行动进行最佳决策,又能直接用于研究灾害形成及其防御的系统。数字减灾系统实际上就是要实现一种虚拟与现实结合的、探索自然灾害数字化、信息化的计算机智能系统。

数字减灾系统有以下几个特点:

(1) 数字减灾系统是地球系统科学和信息科学高度结合的产物;

(2) 数字减灾系统的研究手段主要有遥感技术、全球定位系统、地理信息系统等地球信息技术;

(3) 数字减灾系统的最终目的是为了减轻自然灾害对人类社会的破坏,推动社会经济的发展。

(4) 数字减灾系统的研究对象、内容和方法:以城市和重大工程的防灾减灾为主要研究对象,这些数字化的内容包括数字地震、数字洪水、数字台风等,也涉及到与其相关的数字城市、数字工程等。

6.4 加强地震知识宣传工作

地震知识宣传的作用与意义

地震和地震预报具有强烈的社会性,社会各阶层、不同岗位的人员都想通过各种途径得到地震消息,每个社会成员

地震知识宣传是地方地震工作的经常性任务之一。

都自觉或不自觉地对地震和地震预报采取着某种行动，正确的社会行动（包括个人行动）从哪里来？要靠地震知识宣传和有力的组织。因此，地震知识宣传是地方地震工作的经常性任务之一。

地震这种现象在社会舆论中常常是神秘而模糊的。当前对地震、地震预报有三种反映：第一，在目前的科学技术尚不能准确预报地震的情况下，还无法满足政府和人民群众的基本要求，地震预报的艰巨性、复杂性很难为社会公众充分理解。因此，预报成功则对地震工作人员奉若神明；一旦失败则出现责难、抱怨乃至过激的言行。第二，相当多的人将科技人员的震后总结分析当成震前的预报，或者将内部讨论的、尚有争议的见解，流传到社会上去，造成误传。一般社会公众平时很难通过正常途径得到地震消息。因而很容易听信那些不负责任的“预言家”的意见。这些都十分容易引起社会混乱。第三，目前有关地震的书刊，大多专业性很强，群众很难理解只有同行专家才能弄懂的语言。上述种种现象表明地震知识宣传的迫切性和重要性。

我国地震工作的经验表明，搞好地震知识宣传，可以稳定社会生产和生活秩序，做好防震减灾工作。

（1）增强地震预报的监测能力。掌握了地震知识的广大群众，可以通过感官直接感知某些宏观前兆现象，并将其及时地报告给有关地震部门加以汇总，结合其他前兆资料进行综合分析，就有可能为临震预报的决断提供更高的有价值的依据。

（2）增强人们防御地震的能力。群众了解地震知识后，

地震知识宣传是地震工作中一项带有战略性的、经常性的任务。

可以提高防御地震的科学性。因地制宜地采取合理的抗震措施，提高建筑物的抗震性能，同时也能防范地震时产生的次生灾害，在震时保持镇静，采取正确的避震措施，减少不必要的伤亡；震后，群众自觉地采取自救互救行动，正确使用营救知识，极大地减少人员的伤亡。

(3) 增强震区救灾的组织能力。掌握了地震知识可以使各级领导者明白地震灾害的严重性，制定出相应的地震对策，做到震前从思想上、组织上和物质上都有所准备，震后能迅速地实施各项救灾对策，减轻地震所造成的损失。

(4) 提高对地震谣言的识别能力。地震谣言之所以容易在社会上流传、蔓延，是因为群众缺少地震知识的缘故。当人们对地震的基本知识和当今地震预报的水平有所了解，谣言就没有市场了。

(5) 有利于地震科学的发展。地震知识可以在不同层次上加以普及。在科学专业分工非常精细的今天，中、高级科普可以开拓专业人员的思路，扩大视野。可以激励中、小学学生及社会上有志之士投身于地震科学研究的行列中来，使这支致力于人类公益事业的地震队伍，兴旺发达，后继有人。

总之，地震知识宣传是地震工作中一项带有战略性的、经常性的任务。

地震知识宣传的内容

根据地区特点、震情及宣传对象的不同，地震知识宣传

地震知识宣传的内容。

的内容也应有所侧重。总括起来可分如下几个方面：

（1）地震基础知识的宣传。主要宣传地震的基本常识，地震产生的原因，地震震级及烈度，地震时人的感觉及何种情况会造成什么样的灾害，如何区别近震、远震、强震、有感震、地震的空间、时间分布特征等。使群众知道地震是一种自然现象，认识和抗御这种灾害，要靠科学，而不能靠迷信，地震科学是复杂的，但是经过科学的探索又是可知的。

（2）地震前兆及地震预报知识的宣传。主要宣传地震孕育—发生过程中伴生的各种地球物理和地球化学等前兆现象，这种前兆现象是可以观测、可以认识的，但也是十分复杂的，有干扰的；通过各种前兆研究可以探索地震预报，但目前还未完全过关；通过宣传地震预报意见及地震预报发布过程、发布权限等常识，使群众知道地震是有前兆的，是可以预测和预防的，但需要深入的研究，特别是不要听信传言。发现异常情况及时报告给有关部门；爱护地震观测台站的仪器、设备和测量标志，配合与协助地震部门的工作。

（3）地震工程知识的宣传。主要宣传地震对地基基础的破坏，建筑物结构的破坏以及各种抗震常识，如地基选择、基础抗震处理、房屋抗震结构、建筑材料选择、施工技术等，特别要注重因地制宜、就地取材的抗震结构设计的宣传。

（4）地震对策知识的宣传。将我国近年来发生的大震及有影响的地震，在地震前后所采取的措施加以总结，使群众、各级领导干部能掌握震前的预防和准备，震时应急防御和避震，震后的抢险救灾、生活管理、社会治安、恢复生产、重建家园等行之有效的措施。使人们知道在强灾面前不是束

地震知识宣传的形式。

手无策，而是可以动员社会力量和群众的智慧，应用现代科学技术进行各种对策，使震灾得以避免或减轻。

地震知识宣传形式

地震知识宣传的形式可分为新闻、科普、文学艺术宣传三大类。各类宣传形式都应发展，不能偏废。

(1) 新闻宣传。充分利用全国性的、地区性的和地方性的广播、报纸、电视等宣传工具，宣传我国地震工作方针、地震工作部署、地震科学知识及工作经验等。这类宣传以其传播快、影响面大而常在重大地震事件中发挥作用。如强震的抗震救灾、平息地震谣言等。

(2) 科普宣传。优先发展群众需要的初级科普读物，发展适合社会上不同专业科技人员需要的中级科普和高级科普读物，同时开展各种宣传普及活动。

初级科普宣传形式：在繁华街道、车站码头、公园等场所设立宣传橱窗、画廊、墙报等；充分利用日用小商品、文化用品进行宣传，如生产和发放印有地震知识的歌谣、图画的火柴盒、挂历、扇子、手帕等；出版发行地震知识小丛书、画册、挂图等；在中、小学的自然常识、地理课本中编入地震知识课；举办地震知识讲座、竞赛及地震科学夏令营等。

中、高级科普宣传形式：主要是编写、出版中、高级科普读物和刊物，以满足不同层次、不同专业读者的需要；举办专题讲座、学术讨论会等。

(3) 文学艺术宣传。主要是利用文学、艺术形式宣传地

震工作方针、地震事业发展的重大事件和人物以及地震科学知识。宣传中可以采用报告文学、科学小品、科幻小说、诗歌、曲艺、电视、电影(纪录片、科教片及故事片)等形式,使宣传更形象生动,为广大群众喜闻乐见。

地震知识宣传中应注意的问题

如前所述,地震既是一种自然灾害,又有极强的社会性,因此地震知识的宣传既十分必要,同时又应采取严肃的态度,如有不慎可能引起不良的社会影响。

(1) 科学性首先要求基本事实、基本数据确凿,基本原理准确,基本概念清楚。其次要求客观地介绍科学的进展程度,切忌以点代面、以偏概全,使群众造成误解,影响宣传本身所希望取得的社会效果。地震宣传材料应以公开出版的文章为依据,有关方面的专业人员参加(如地震、抗震、医疗、消防、治安等方面的宣传人员)。

(2) 针对性地震知识的宣传要有的放矢,针对当时的地震形势、社会舆论、地方特点结合实际地宣传,效果更好。根据被宣传对象的文化程度及专业特点,宣传的深浅及内容应有所侧重。

在平息地震谣言的宣传中应注意:第一,要调查谣言的来源及流传的特点,以便对症下药;第二,各级地震部门要密切联系,及时交换意见,并提出统一的解释,使宣传口径一致;第三,要与当地各级政府部门及新闻机构联系,采取统一行动,这对影响较大的地震谣言尤其重要;第四,行动要快、

任何个人和专业、业余地震队伍都没有发布地震预报的权力。

要准，宣传面要广，阻止谣言继续扩散；第五，宣传中在讲解科学道理的同时，还要教给人们识别谣言的方法。

在对有感地震区及大震波及区的宣传要注意：第一，抓紧时机进行地震知识的普及教育；第二，要讲清地震发生的地点、震级、影响范围，以及对本区的影响程度，使群众解除紧张情绪，恢复正常秩序；第三，抓紧时机检查有关防震、抗震等各项工作，对有关部门进行专业性知识训练；第四，地震部门应密切监视地震震情的发展与变化，并随时向当地政府作汇报工作；第五，要注意社会上关于地震的各种传言，及时向群众解释和引导。

对地震预报的宣传要注意：第一，如实介绍地震预报科学的思路、手段、方法和现状，不可轻信社会上那些没有科学依据的预报意见；第二，鼓励并引导群众性的观测与研究；第三，宣传预报的发布过程及权限，使群众明白任何个人和专业、业余地震队伍都没有发布地震预报的权力，从而不被社会上各种“预言家”的预报谣传所蛊惑。

7 地震能否预报

实现预报的能力经常被作为某一科学学科是否充分发展了的一个标志。例如，牛顿发现了万有引力定律，使天文学家们能做出行星运行轨道和宇宙飞船轨道的高精度定量预报。而根据大气的温度、压力和水分含量测量，气象学家们能够应用大气运动的理论公式做出虽然仅仅是短期的，但具有一定精度的大气环流预报和天气预报。

自古以来人们一直在试图预报地震。例如，一种常见的观念是地震之前会出现一种特定类型的天气；另一种看法是地震之前动物会表现出异常的行为。特别是在

海城地震预报拯救了 10 万余人的生命，避免了数十亿元的经济损失，仅就这一点来说，这次预报可以说是地震科学史上的一座丰碑。

地震多发国家常能听到宣称从自然环境变化的观测中得到预报地震能力的种种传说。

1975 年 2 月 4 日 19 时 36 分，我国辽宁省海城、营口县一带（北纬 40°41′、东经 122°50′）发生了一次强烈地震，震级 7.3 级，震源深度 16～21 公里，震中烈度为 9 度强。

在地震发生前，有关部门已经做出了多次预报。在发布短临预报前后，人们已经做好充分的准备工作，震区各级政府组织群众预防，全区人员伤亡 18308 人，仅占总人口数的 0.22%，重伤 4292 人，轻伤 12688 人，轻重伤占总人口数的 0.2%。

30 多年来，我国确实取得了若干次预报成功的实例。除海城地震外，对我国地震部门来说，1976 年 8 月 15 日四川松潘 7.2 级地震的中短期预报、1995 年 7 月 12 日云南孟连 7.3 级地震、1996 年 6 月 4 日新疆伽师 6.0 级地震、1998 年 10 月云南宁蒗 5.8 级地震，均是比较成功的短临预报。这些地震的预报成功极大地保护了当地的社会稳定，经济的健康发展。

海城等地震的成功预报，震惊了世界。这是人类在自然灾害面前由被动到主动所迈出的具有重大意义的一步，它开创了人类短临地震预报成功的先河，使人们看到了地震预报的前景是光明的。据估计，海城地震预报拯救了 10 万余人的生命，避免了数十亿元的经济损失，仅就这一点来说，这次预报可以说是地震科学史上的一座丰碑。震前预报预防的成功，还带来了其他一系列的社会、经济效益。人员伤亡的减少，尤其是青壮年伤亡的减少，有效地保证了灾区的抗震

当前的地震预报是在对地震孕育、发展、发生规律尚不清楚的情况下进行的，地震预报尚处于经验性阶段。

救灾、恢复生产和重建家园的顺利进行，减轻了由国家大量派出救灾人员和因停产而引起的损失。由海城地震成功预报的实例表明地震预报可以大大减轻地震灾害的损失程度。

然而，由于地球是一个复杂的巨系统，人类对地球的了解还远远不够，目前对大陆地震孕育的构造背景、深部构造、震源区介质变形及震源物理化学过程、强震触发机理等因素，以及对地震发生前可以观测到的各种异常现象的内在机理还知之甚少或理解浅薄，当前的地震预报是在对地震孕育、发展、发生规律尚不清楚的情况下进行的，地震预报尚处于经验性阶段。这就从根本上制约了地震预报水平的提高。1976 年我国唐山大地震造成了 24.2 万人死亡，1988 年 12 月 7 日前苏联亚美尼亚 7.1 级地震，其死亡人数达 2.5 万人，1990 年 6 月 21 日伊朗鲁德巴尔 7.6 级大震，死亡人数高达 4 万人，1993 年 9 月 30 日印度德干高原的拉土耳 6.5 级地震也造成上万人死亡。尤其是 1994 年 1 月 17 日美国洛杉矶的北岭 6.6 级地震和 1995 年 1 月 17 日日本阪神 7.1 级地震，发生在科学技术水平和研究经费都是一流的两个地震预报研究大国，不但震前未有预报，而且造成人员伤亡（其中阪神地震的死亡人数超过 6000 人）和巨额经济损失（分别达 200 亿美元和 1000 亿美元），令国际社会震惊。进入新世纪之后，2004 年 12 月 26 日印度洋 9 级大地震引发的海啸使人类付出了惨重代价，人类再一次经历了地震的考验，因此地震预报工作也再一次成为人类关注的焦点。

在实际工作中，通常把预报的时间尺度划分为长期、中期、短期、临震预报四个阶段。

7.1 地震预报的内容

地震预报的最基本含义是对地震发生时间、地点、震级的预报。按照预报的目的，预报的对象不是一般的小震，而是可能产生重大社会影响的中强地震，尤其是破坏性地震。另外，按照预报的时间尺度和区域范围的不同，可以把预报作相应的划分。在实际工作中，通常把预报的时间尺度划分为长期、中期、短期、临震预报四个阶段。其时间尺度的划分，目前尚不很严格，大致分别为几十年～几年，几年（一般为一二年或二三年）～半年，半年～半个月，半个月～几天。如果连同大震后震区短时间内地震趋势和余震的预报，则可分为五个阶段。它们都是以有限的区域为目标的，也就是说，所预报的发震区域是有限的，一般来说为几万平方公里的地域。但也有些预报，其预报的区域范围相当广阔，甚至包括若干省区乃至全国。这种大区域的预报，其预报的对象可能是一次地震，也可能是地震活动的群体，如大区域地震活动的总趋势。这种预报的时间尺度可能为几年，也可能为几个月，甚至几天。

（1）震级预报：由于地震是震源体应力-应变积累的结果，地震越大，震前应力-应变积累的时间也越长，强度往往也越大，且震源区体积也越大。这些特点反映在地震前兆上，则表现为震级也大，地震前兆异常（主要指趋势异常）持续时间越长，前兆异常的空间展布范围越大。国内外地震专家将其归纳为两个预报公式，即 $M=\mathrm{A}+\mathrm{B}\lg T$ 和 $M=\mathrm{C}+$

DlgR。前者是震级 M 与异常持续时间 T 之间的关系式，后者是震级与异常分布半径 R（可根据异常范围勾画）之间的关系式。A、B 和 C、D 为常数，这些常数往往随地区和观测手段的不同而显示差异。除了这两个基本经验公式外，还有一些其他判据和指标用以预报地震的大小。

（2）时间预报：时间预报主要是根据地震前兆的发展过程判断地震发生的日期。早期的前兆异常往往是慢速的、渐变的趋势性变化。越接近地震发生，异常变化越激烈，越呈现为快速和突发的特点，同时还出现地下介质异常和多种动物习性的宏观异常。据此可把发震时间判断为几个月乃至几天之内。在临震时，还可能观测到地声、地光等前兆。所以根据异常发展的过程，可逐步分析并逼近地震的发生时间。此外，具体发震日期的预报还需要考虑触发因素，如朔望日、磁暴、节气日等。

（3）地点预报：从实践经验看，震中及其附近地区的预报是由异常现象显露程度、异常幅度的大小以及异常出现的先后来判断的。一般来说，异常集中程度最高、幅度最大和发育最早的地区往往最接近震中。此外，根据地质构造分析地震活动中空区、条带等异常图像，也可为未来地震震中区的预报提供依据。

7.2 地震预报的一些方法

（1）经验性预报

我国的地震预报研究是在邢台大地震后蓬勃开展起来

在地震预测屡遭挫折的情况下，地震学家认识到必须从经验性预报转向以物理机制为基础的概率预报。

的。从1970年到1975年，新疆乌什，四川马尔康、马边、甘孜，云南红河、永善，相继发生5～6级地震。为了寻找地震前兆，研究人员对各种与地震有关的现象，如地下水、地电、地磁、地形变、地温、重力、气象、动物异常等，进行了广泛的观测研究。在此基础上，我国地震科学家在1975年成功预报了海城7.3级地震。这次预报使绝大多数居民在震前撤离出了住宅区，转移出了重要的物资设备，大大减轻了损失和人员伤亡。由于地震科学家一直没有找到与地震发生有必然联系的前兆现象，一年之后地震科学家在唐山7.8级地震预报中遭到惨痛的失败。与此同时，日本兵库7.2级地震和美国加利福尼亚州的地震也在毫无预警的情况下发生。

在地震预测屡遭挫折的情况下，地震学家认识到"小震闹、大震到、井水翻花冒泡地要跳"之类经验性预测方法的严重局限性，因此必须从经验性预报转向以物理机制为基础的概率预报。

(2) 地震仪

地震是地壳岩层在地球内动力作用下发生的位移形变，当形变发展到极限时，岩层发生剪切破裂，从而引起地震。除地震引起地面运动外，地震孕育过程中的地壳形变也引起地面运动，只是位移速率极其缓慢。地震孕育过程中缓慢的地动位移频率非常低，信号周期长达数月到数年。经典地震学用地震仪观测地震活动的后半部，即岩层破裂时发出的弹性地震波穿过地球时的效应，从而使我们了解地球内部的结构和构造。凭着对地动位移高频段信号的观测和分析研究，经典地震学不仅能提供地震的发生时刻、震中位置、震级大

地震观测网和GPS观测网打开了地动位移观测的高频端和低频端两个观测窗口，成为地震预报观测技术的两大支柱。

小，还能提供地震断层面的方位、倾角以及地震破裂从断裂面的何处开始，以多大速率扩展，到何处终止等相关信息。我国现在有将近1000台地震仪组网在各地监测地震活动，已经可以有效地掌握全国的地震活动情况。

然而，地震仪的观测频带太窄，观测不到地震孕育过程中发出的超低频信号。

(3) 大地测量法

要观测地震孕育过程中地面缓慢的位移和形变，就要依靠大地测量法。大地测量法就是对测点三维坐标的变化进行监测。但是，在大范围国土面积上开展高精度大地形变的观测是一件人工耗费极大的事。20世纪80—90年代，全球卫星定位技术(GPS)的发展使自动观测成为可能。目前我国正在建设“中国地壳运动观测网络”系统，该系统有1081个观测点，可以对每个测点三维坐标的变化进行自动动态监测。观测网投入运行后，“地动位移”的长周期频段将得到有效监测，我国的地震预报能力将进一步提高。

地震观测网和GPS观测网打开了地动位移观测的高频端和低频端两个观测窗口，成为地震预报观测技术的两大支柱。但这两大窗口之间还存在观测盲区，这就是周期约30秒到数日的中频段，而这一频段的信息恰是对临震预报最关键的资料。唐山地震前两天天津塘沽验潮仪的潮位记录，叠加在潮位变化上的周期约两小时的波动显示，震前两天震区地面曾发生大范围形变波动，可惜这类震前信号的频率在地震仪和大地测量的观测频带之外，目前还无法观测到它们。

临震预报是地震预报最困难但又最关键的阶段。获取

临震预报是地震预报最困难但又最关键的阶段。获取周期为数分钟到数小时的中频段地动位移信息成为地震预报科学发展的重要前沿领域。

周期为数分钟到数小时的中频段地动位移信息成为地震预报科学发展的重要前沿领域。

（4）定点形变测量法

要获取中频段地动位移信息目前只有依靠定点形变测量方法，主要是利用安装在山硐和钻孔中的应变仪和倾斜仪。应变仪必须安装在深山硐或数十米以下深的钻孔中，日温差小于千分之一摄氏度，以减少温度和外界干扰。应变仪具有的高灵敏度和稳定性，能观测到日、月引力变化引起地壳像海潮式起伏变化的固体潮现象，也足以发现附近强地震孕育过程中地面的伸缩变形。

山硐造价过大，选点比较困难，目前，全国只有少量在山硐中装有应变仪和倾斜仪的定点形变观测台，与地震观测要求的仪器布置密度相差甚远。像上海要寻找合适的山硐条件很困难，目前仅佘山有一台石英应变仪。可以说到目前为止，地动位移中频段的监测仍是地震预报监测的薄弱环节。

钻孔应变仪安装在地下钻孔中，造价低，选点的限制较小。但测量基线短（一般只有约 0.1 米长），要求测长传感器的分辨率比同样灵敏的山硐应变仪高 1 万倍，因而制造难度较大。美国的萨克斯教授在 20 世纪 70 年代研制成功体积式钻孔应变仪，具有较高的观测精度，可以记录到清晰的固体潮现象，引起国际地震界的重视。这种仪器具有极高灵敏度和良好的稳定性，测量的分辨率非常高。20 世纪 80 年代，日本在东京周围布设了 30 多套萨克斯应变仪，并将钻孔应变仪的观测异常作为东海地区发布临震预报的主要判据。

我国在 20 世纪 70—80 年代积极研制各种型号的钻孔

大地震的发生是有一定的孕育过程的。在孕震过程中，震源区及周围区域的介质和应力状态要发生明显的变化，通过在地面附近进行的多种观测可能窥测到这种变化。

应变仪，并取得成功。目前，除开发出与萨克斯应变仪同样性能的 TJ-1、TJ-2 型体积式钻孔应变仪外，还独立设计、研制成功了 YRY-2 型钻孔剪应变仪。

有了钻孔观测应变仪器，对地震位移中频段的组网观测就有了可能。以往的硐室应变仪台站都是有人值守台站，设点十分困难。一方面大量人员负担难以承受，另外有人生活居住的环境又加大了测量干扰。在新的技术条件下建设钻孔应变仪台网应该是无人值守的数字化遥测网，由于无须考虑人员的生活条件，建设和运行费用将大大减低。

建成地震、应变、GPS 三个观测网，就可以对频率在 20 赫兹以下的地动位移物理量进行全频段的实时监测，这对推进地震科学工作者了解地震孕育的全过程的研究，通过测震和以震报震以及预报方式向物理预报转变都有十分重要的意义。

7.3 地震预报面临的困难

自 20 世纪 60 年代中期，中、日、苏、美等多地震国家先后制定并逐步开展了较全面的地震预报研究计划以来，地震预报研究有了很大的发展。根据很多大震前观测到的多种异常现象和有关的实验、理论研究结果，国内外学者认为，大地震的发生是有一定的孕育过程的。在孕震过程中，震源区及周围区域的介质和应力状态要发生明显的变化，通过在地面附近进行的多种观测可能窥测到这种变化。而且正如后面将论及的，很多大震前观测到的各种前兆异常，尽管有不

根据地震前出现的各种前兆异常来预报，无疑是进行地震预报的最根本途径。

少差异，但仍显示出某些共性特征。因此，有可能根据在地表观测到的各种前兆性异常来预报地震。

近二十年来，一些文献曾报道了国外几次较成功的中长期预报的事例。比如，大竹正如 1977 年根据地震空区预报墨西哥的瓦哈卡地区很可能面临一次大地震的危险。结果，1978 年在所预报的地区发生了 7.8 级强震。在我国，对某些 6 级以上地震作过较好的中期预报，而且，继海城地震的预报成功之后，又对 1976 年松潘 7.2 级地震等几次大地震，在震前作了较好的短临预报。这些事实表明，虽然地震预报至今仍处于探索阶段，但在某些有利的条件下，对某种类型的大震在震前作出一定程度的预报，甚至是较成功的预报，是完全可能的。可以期望，随着各学科领域研究的深入和现代技术的进步，地震预报的准确度将不断提高。因此，现阶段，如果放弃对地震预报的研究，不仅不符合社会和公众的要求，也不符合科学的发展规律。但另一方面，如果低估了预报的难度，同样是不科学的，不符合社会和公众的利益。因为总的来说，地震预报至今仍是一个难度很大的科学问题，要对多数大震做出准确的预报，尤其是短临预报是困难的。近二十年的实践表明，已有的一些经验和认识，在实际的应用中经常遇到各种问题和困难。归纳起来，遇到的困难和存在的问题主要有以下几方面。

（1）异常与地震关系的不惟一性

根据地震前出现的各种前兆异常来预报，无疑是进行地震预报的最根本途径。但是，至今为止，不仅没有任何一种异常现象是在所有地震前被观测到，更突出的问题还在于，

异常性质的判别仍是地震分析预报工作中经常遇到的一个基本难题。

也没有任何一种异常现象一旦出现之后，必然有大震发生。就以国内外普遍认为的与大震关系较密切的地震活动性异常而言也是如此。其他观测资料的异常变化与地震关系的不惟一性问题就更为突出，这是由于观测值的综合反应所致。例如，气象、水文等自然环境的变化或人为因素均可导致观测值出现异常变化；一般地壳构造运动的变异也可能导致观测值出现异常变化。地震孕育只是引起观测值变化的可能因素之一。近几年来，中国地震局组织对各种观测项目和预报方法作了系统的清理，结果表明，"无震异常"是很多的。根据华北地区综合预报清理小组的报告，近十多年来在华北地区观测到的异常有数百起，其中，部分异常可能与唐山、海城两次强震及几次中强地震的孕育有关，但很多异常出现之后，并无大震发生。即使按现有认识，去掉大量的可能由气象、水文等环境条件的变化或人为因素引起的干扰性异常，至少还有 170 多起异常没有相应的地震与之对应。可以肯定，自开展地震预报工作以来，人们一直致力于异常性质判别的研究，并积累了一些定性的经验，但总的来说，还缺乏有效的方法和定量的指标。因此，异常性质的判别仍是地震分析预报工作中经常遇到的一个基本难题。

(2) 各局部地区异常变化关系的复杂性

在大区域里寻找可能表征大震孕育的局部异常集中区，是根据观测资料的异常变化来预报地震的基本方法。但由于陆壳构造的复杂性，在一定的区域范围内，易于应力集中的地点不是单一的。因此，一方面在一定区域范围内往往同时出现若干个局部的异常集中区，而其发展又并非均导致大

地震前兆有一些共性特征，它们是进行分析预报的重要借鉴。而前兆表现的差异性又往往给震情的分析判断造成了一定的困难。

震的发生。另一方面，有时一定区域里，在较短的时间里相继发生多次中强以上地震，不仅各次地震的前兆互相重叠，而且一次地震的“后效”又可能对其他地震前兆的发展造成影响，使异常分布图像更加复杂。各局部地区观测资料异常变化关系的种种复杂性，给在广阔区域里寻找近期地震的可能危险区带来不少的困难。

(3) 地震可能性前兆表现的差异性

地震前兆有一些共性特征，它们是进行分析预报的重要借鉴。但另一方面，由于构造环境、地震类型、震区地震活动历史，以及台网布局等的差异，各次大震前的异常表现也有不少差别。例如，1969 年的渤海 7.4 级地震、1975 年的海城 7.3 级地震、1976 年的唐山 7.8 级地震，震前区域地震活动性异常，既有某些相似性，如均有两个近于共轭的地震活动条带出现等，但也有某些差别，最突出的是海城地震和唐山地震震中区的近旁区域，强震前二三年地震活动显著增强，而渤海地震前则不然，仅在震前三个月左右的时间才在震中区发生了二次 3 级左右地震。而唐山地震和海城地震，虽然震前的中期异常有很多相似之处，但短临异常却显示出明显的差异。最突出的差异是：其一，海城强震前有丰富的直接的前震活动，而唐山强震则没有。其二，海城强震前，地下水和动物行为等宏观前兆异常，在震前一二个月就剧烈地表现出来。而唐山强震前的宏观前兆异常，在震前一二天才大量出现，如此等等。地震可能性前兆表现的差异性往往给震情的分析判断造成了一定的困难。

一次明确的预报必须同时指出地震可能发生的时间、地点和震级。

（4）各种预报方法的局限性

一次明确的预报必须同时指出地震可能发生的时间、地点和震级。但至今为止，在地震预报中所采用的观测项目和相应的分析预报方法难以同时给出这三个要素的准确预报。这表明，对于复杂的地震孕育过程来说，目前所采用的观测项目和预报方法，各自主要仅是孕震过程的某些侧面的描述。更应指出的是，多数观测项目和预报方法在预报地震的发生时间方面都存在很大的困难。这是当前国内外在地震预报中存在的一个突出的难点。正如有些学者所认为的如果说根据现有知识，对地震的地点，在某种程度上也对地震强度的估计已有较大的可靠性，那么对发震时间的预报，实际上现在才开始成为一个科学问题。

（5）统计、类比、外推方法

目前在地震预报中所采用的分析预报方法，虽然都有一定的物理含义。但多是对过去所发生过的现象和情况进行统计分析，找出某些统计特征，然后把目前的状态与之类比，以推断未来可能的地震趋势。显然，这是以过去的特征可能重演为前提的。然而，由于某些条件的变化，过去的特征是否重复发生，则存在很多不确定性。因此，统计、类比、外推的分析预报方法虽然在预报的实际应用中获得一定的效果，但仍有很大的局限性。

7.4 我国地震预报的现状与前景

上世纪60年代中叶，日本、美国、苏联等相继应用先进

我国地震预报的现状与前景。

的科学技术有计划地开展了地震预报研究。我国自1966年邢台地震后开始大规模地震预报的科学实验，基本上与日、美、苏等主要地震研究国家同步。经过近40的探索，地震预报研究有了很大进展。然而，作为地球科学的前沿课题，地震预报这一科学难题至今在世界上尚未突破。

与日本、美国相比，我国的地震预报研究在观测技术、仪器设备、通讯技术、数据处理技术等方面仍有差距。但我国在下列诸方面与日、美、苏相比具有优势。第一，我国所取得的大震震例资料、观测到的前兆现象和积累的地震预报经验是其他国家无法比拟的。1966年以来，我国已在70多次中强以上地震前观测到了上千条前兆异常，积累了非常宝贵的科学资料，并从中总结提炼了一系列地震预报经验，这些都为世界各国所瞩目。第二，在总结预报经验的基础上，我们进一步研究了地震预报的判据、指标和方法，以及地震预报的技术程序，把地震预报研究向实用化方面推进了一大步，而其他国家的地震预报研究，除了在个别地区进行实用化尝试外，一般都还在试验之中。第三，在1966—1976年我国地震活动高潮中，我们对海城、松潘等多次地震等曾作出较好的预报，并取得了减轻灾害的效果。这些都在世界地震科学史上谱写了光辉的篇章。

然而，尽管我国地震预报在过去的40多年中取得了长足的进步，并站在世界地震预报研究的前列，但我们不得不承认目前我们地震预报的水平仍然是很低的，能作出预报的地震只占极少数。因此，以往的科学成果还只是进一步攻克地震预报科学难关的良好开端。

我国的地震预报由于国家的重视和其明确的任务性，经过一代人的努力，已居于世界先进行列。

我国目前的地震预报水平的状况，大体可以这样概括：

我们对地震孕育发生的原理、规律有所认识，但还没有完全认识；我们能够对某些类型的地震做出一定程度的预报，但还不能预报所有的地震，我们作出的较大时间尺度的中长期预报已有一定的可信度，但短临预报的成功率还相对较低。

我国的地震预报由于国家的重视和其明确的任务性，经过一代人的努力，已居于世界先进行列。在第四个地震活跃期内，由于我们曾成功地对海城等几次大震做过短临预报，因此经联合国教科文组织评审，我国作为惟一对地震做出过成功短临预报的国家，被载入史册。

从世界范围说，地震预报仍处于探索阶段，尚未完全掌握地震孕育发展的规律，我们的预报主要是根据多年积累的观测资料和震例，进行经验性预报。因此，不可避免地带有很大的局限性。

近 40 年来，我国地震预报研究取得了较大的进展，今后进一步通过理论研究、实验研究和地震现场的观测研究，深入探索地震孕育发生的物理过程，通过对现代地球科学成果和各种高技术的应用，寻找地震孕育发生的物理规律，是地震预报研究继续努力的方向。相信通过科学工作者坚持不懈的努力，在不久的将来，人类必将攻克地震预报的科学难关。

7.5　一把双刃的剑

地震预知（而非预报）如果成功会避免巨大的损失。但

地震预知(而非预报)如果成功会避免巨大的损失。但如果出现失误,则很可能造成巨大的混乱。

如果出现失误,则很可能造成巨大的混乱。由于技术上还没有过关,所以内在的冒险性还很大。因此特别重要的是善于处理科学预报的问题,研究地震预报方面自然科学与社会科学之间的关系,以适应社会主义市场经济的发展,以适应以人为本的社会进步管理体制。

1978 年,当美国学者正在研究墨西哥地震空区时,社会上捕风捉影地流传着将要发生大地震的传言,在当地引起了很大的混乱。这种麻烦今后也可能发生。此后,在美国地震学会上对地震预知的理论规定展开了讨论。希望有一个具体的规定,但又要兼顾研究者的自由,所以这是一个十分微妙的问题。

为避免此类情况发生,一方面科学家必须考虑自身的纪律;另一方面行政部门要努力使社会理解地震预知的限度,恰当地利用地震预知;报道部门也要灵活地对待各种信息。在这种意义上看,地震预知的应用也是一个社会系统问题。

然而越是社会十分关心的问题,对情报的冲击也就越强烈。地震也是这样。如果把十多年前的情况与现在的情况比较一下就十分清楚了。即使在现在,在气氛平静时和在开始出现潜在的不安定时情况也大不一样。在这实际预知过程中灾害往往不是按照预想的过程发展、微弱的异常缓慢地持续发展下去,有时真的发生了大地震,有时什么也没有发生,但异常也结束了。在很多情况下发展过程是不明朗的。不确定的时间越长,矛盾和问题就越多,到出现这种情况时就已经太晚了,所以重要的是平时要加强地震信息的交流,使整个社会应付异常状态的能力得到强化。

在经济高度发展的社会里，地震预报的确是一把双刃剑，必须对此有清醒的认识。

说到地震信息，一方面由于信息过多所产生的过剩反应是个问题，另一方面也不能忘记独占信息也会产生种种弊端。地震信息在经济上和政治上的滥用并不是完全不可能。总而言之，在经济高度发展的社会里，地震预报的确是一把双刃剑，必须对此有清醒的认识。

8 什么是地震前兆

1970 年 1 月 5 日凌晨 1 时 0 分，我国云南通海发生 7.8 级大地震。震情迅速报告给周恩来总理，周总理当即指示地震部门："要密切注视，地震是有前兆的，是可以预测的，可以预防的，要解决这个问题……"

在周总理指示的鼓舞下，地震科技工作者经过长期艰苦的探索，积累了大量的地震前兆观测资料和一系列震例经验，并通过对孕震过程中地震前兆的监测和分析研究，较好地预报了 1975 年海城 7.3 级和 1976 年松潘 7.2 级等大地震，这是世界地震科学研究中所取得的最重大的进展。

20 世纪 80 年代以来，通过对地震前兆

我们把这些与地震孕育和发生有密切联系的异常现象称之为地震前兆。

的系统清理和对地震前兆及其预报方法的实用化研究，进一步探索了各种前兆用以预报地震的判据、指标和方法以及预报工作的程序，使人们对地震前兆的监测机理和研究的认识又提高了一步。

8.1 为什么会有地震前兆

地震是地壳运动中岩石应力-应变不断积累、增加，当其超过岩体破裂强度时所发生的岩体突然破裂。所以，地震的发生总有一个应力-应变长时期积累的过程，当这个过程中应力强度增长到接近岩石破裂强度时，岩石中将出现小的裂隙，且其数量和长度随应力的增长而增大，并因此导致岩石体积的膨胀，于是在地表就能观测到地壳形变。微小破裂的发展一方面使岩石的物理性质如岩石密度、弹性等发生变化；另一方面，还会使地壳中蕴藏的气体、水、汽、油等各种流体以岩石裂缝为通道开始运移。随着孕震区岩石应力-应变增长，介质物理性质变化和地下流体活动的增强及气体的逸出，人们就可以观测到地震活动性、地壳形变、地下水、地下气体、地球电场、磁场、重力场等各种观测量的变化。在临近地震发生前还可以观测到电磁波干扰、动物习性变化等一系列宏观异常变化，也会观测到地下流体，如水位、水温、水质等的突变，在地震即将发生时还会伴有地声、地光。我们把这些与地震孕育和发生有密切联系的异常现象称之为地震前兆。

古人和现代人一样，都很重视震前宏观异常现象。

8.2 地震前兆证据

地震前兆很复杂，概括起来主要有两大类，一类是宏观前兆，一类是微观前兆。那些由人的感觉器官所能直接觉察的地震前兆，为宏观前兆。另一类是不能被人的感觉器官直接察觉，需用仪器测出的地震前兆，为微观前兆。

从我国发生的大地震中发现，每次在震前都有前兆异常现象，特别是有丰富的宏观前兆现象。明清之际，我国的地震活动曾出现一个高潮，地震较多的隆德县，流传着一篇《震兆六端》的文章：

"地震之兆约有六端：一、井水本湛静无波，倏忽浑如墨，泥渣上浮，势必地震。二、池沼之水，风吹成谷荇交萦，无端泡沫上腾，若沸煎茶，势必地震。三、海面遇风，波浪高涌，奔腾澎湃，此常情。若风日晴和，台飓不作，海水忽然绕起，汹涌异常，势必地震。四、夜半晦黑，天忽开朗，光明照耀，无异日中，势必地震。五、天晴日暖，碧空晴静，忽见黑云如缕，蜿如长蛇横亘空际，久而不散，势必地震。六、时值盛暑，酷热蒸腾，挥汗如雨，蓦觉清凉如冰雪冷气袭人，肌之为栗，势必地震。"

可见，古人和现代人一样，都很重视震前宏观异常现象。地震前天气骤冷或骤热，地下发出奇异的响声，天空出现特别的亮光，这些都有可能是地震宏观前兆。

宏观前兆对地震预报具有重要的作用。正确识别地震宏观异常现象，不仅对地震专业工作者十分重要，而且对广

微观前兆只能用各类精密仪表、仪器才能观测到。

大人民群众也十分必要。因为这些宏观现象都是在临震前几天或更短时间内发生的，而且越是临近地震，前兆异常的种类越多、数量越大。如果群众能识别到这些宏观异常，并采取防御措施，会有利于自身的安全；如果能及时将这些宏观异常报告地震部门，则对于地震部门判断震情和准确预报地震具有十分重要的意义。

地震的微观前兆是指在地震形成过程中，引起震源所处的地壳的地球物理场、地球化学场、形变场等不断发生变化，从而导致产生地震的前兆异常。微观前兆只能用各类精密仪表、仪器才能观测到。微观前兆主要有：人不能感觉到的小地震活动，地形变及海平面升降，地下水微动态变化与地下水组分变化，地应力、地磁、地电、地温、重力等变化。如1992年2月18日南日岛5.2级地震前，在兴化湾地区，自1985年起2.0级地震逐渐形成围空区，出现频度、缺震等中长期异常，后来各种监测仪器又测出地形变、地下水化学的中短期异常，在1月29日至2月15日前后观测到地形变水氡、水位、地电、地磁的短临异常。

8.3 地震前兆现象

(1) 前震活动

有的大地震发生前几天或几小时会发生一系列小地震，多者可达几十至几百次，科学家称它们为前震。

在我国的地震史料中有不少震例都记录到前震活动。如公元1512年“五月云南地连震十三日，八月云南地大震”。

以小震活动作为前兆预报地震，目前不具有普遍规律。

1668年7月25日镇江府、丹阳“戌时地震，先数日微震一次，是日震甚，山动摇，江河之水皆为鼓荡，停泊之舟多覆溺，城内外震裂墙屋无算”。

由于观察认识到大震前有一系列小震，因此便可利用前震预报大震，并设法预防大震。比如1809年8月11日贵州正安“小溪里、罗乾溪忽山动石坠，居民即将器具牛羊移居对山，迁毕地摇，房屋倒塌，田土尽翻，山泉凝而为潭，深不可测”。

小震活动不断，但无大震发生的现象也很多。另外小震活动不明显，发生大震的例子也常出现。所以，以小震活动作为前兆预报地震，目前不具有普遍规律。

（2）地壳变形

多年来大地测量的结果发现，我国几次较大的地震，如1966年邢台地震、1969年渤海地震、广东阳江地震、1970年云南通海地震、玉溪地震等，震前都出现地形变活动。

邢台地震前，震区内某水准点的高程变化。从1964年12月开始，一反其历年来长趋势下降的常态，以每年82～110毫米速度急剧上升，到1996年3月15日突又转为迅速下降，到3月22日就发生了地震。

1968年山东郯城8.5级大震之前，在震中区东方海域有个小岛，由于地面慢慢隆起，小岛不断上升，后来居然同大陆连成一片。地震爆发时，极震区东侧猛然上升，使相邻的江苏赣榆东面的海水后退了15公里。

美国地震学家沿着圣安德列斯大断层共布设了80多个观测点。由于这条断层的活动，使得加利福尼亚州西海岸成

大地形变测量能为地震综合预报提供极其有用的判断依据。

为世界上地震最频繁的地区之一。圣安德列斯断层的突出特点是水平方向错动。如 1906 年地震时，断层两侧错动了 6.4 米。按地质方法推算，从侏罗纪到现在，该断层水平位移量已达 500 公里。目前据卫星测定，该断层某些地段水平剪切相对速率高达每年 5 厘米。

日本在几次大震之前，也发觉了异常变化。如 1964 年日本新潟地震之前 9 小时左右出现了应变异常。当时在距主震震中 70 公里远的 20 架垂直向应变仪（垂直伸缩仪，放在 40 米深的井内）中，有 15 架记录到地面发生 0.3～0.4 毫米的垂直膨胀。

我们知道，地下断层的活动是大多数地震发生的直接原因，大地形变测量能够监视断层的活动，配合其他方法，如地声，可监视断层微破裂等，就有可能准确地判定断层活动的状态，沿着这个思路，大地形变测量能为地震综合预报提供极其有用的判断依据。

（3）地下水异常变化

大地震之前，震区范围的地下含水岩石在构造运动的过程中，受到强烈的挤压或拉伸，引起地下水运移，出现水位的升降和各种物理性质和化学变化，使水变味、变色、混浊、浮油花、出气泡等。由于地下水与河流之间存在互相补给的关系，震前地下水的变化，也会引起河水流量的变化。

河北邢台区隆尧县马兰大队有三口水井，一口在村南，一口在村东，一口在村东北。1966 年 3 月村南那口井突然向外喷砂，村东那口井井水突然冒气泡、翻油花，而村东北那口井井水突然变苦，这三口井这么闹腾一阵之后，3 月 8 日邢台

震前地下水发生的异常变化，是一种很重要的地震前兆现象，是目前预测预报地震的重要手段之一。

发生了大地震。

1970 年 1 月云南玉溪大地震前，某公社旱情十分严重，但在大震前六七天，却有几口井的水位突然显著升高，有的甚至溢出井外；那里有几条河，在天旱无雨的情况下，突然变浑而且流量增大；在极度震区，某村的一口甜水井，不仅水位急剧下降，而且水的味道也变咸变苦，相反，有的井水却突然变甜；有的井水，煮的饭变红，用来做豆腐、豆浆不能板结。

1975 年 2 月 4 日海城地震之前，先后发现 467 口井水位有升降变化，此外出现井水翻花冒泡、变浑、变味、变色、浮油花等现象总共 449 起。如岫岩县哨子河公社油房沟生产队的养鱼池，在震前 4 小时，水从冰面上的通气孔中突然喷出，水柱高达 7 尺余。又如，丹东市郊九连城公社套外三队的一口井在震前井水严重变浑无法饮用。

1966 年，苏联的塔什干发生一次 5.6 级地震。该地区有一口 2000 米的深井，自 1961 年起至震前，井水中氡的含量增加了 3 倍，地震发生后又恢复正常。以后，许多国家相继利用井水开展氡气测量，用其异常现象预报地震。

震前地下水发生的异常变化，是一种很重要的地震前兆现象，是目前预测预报地震的重要手段之一。

(4) 电磁场异常

地震前，通常会引起电磁场的变化。1855 年，在日本江户闹市区有一位开眼镜铺的商人，他用长 3 日尺(1 日尺等于 30.3 厘米)的一个马蹄铁，在马蹄铁上面沾满铁钉，以此来招引顾客。但是，在 1855 年江户大地震发生的当天，吸到磁铁上的铁钉及其他铁制商品，突然掉落在地，使他大为惊愕。

观测电磁场的变化也成为预报地震的主要手段之一。

时过两小时，一次破坏性大地震发生了，震撼了整个市区。地震过后，发现那块磁铁又恢复了往日的吸铁功能。类似的事件，在我们国家也曾多次出现。

1970年1月5日，在云南通海发生7.8级大地震。震前，震中区有些人在收听中央人民广播电台的广播，忽然发现收音机音量减小，声音嘈杂不清，特别是在震前几分钟，播音干脆中断。再如，1973年2月6日四川炉霍7.9级地震之前，县广播站的工作人员发现，在震前5～30分钟，收音机杂音很大，无法调试，接着发生了大地震。

地震前电磁场的变化，很早就被人们注意到了。1872年12月15日印度发生地震前，巴西利亚至伦敦的电报线上出现了异常电流；1930年日本北伊豆地震时，电流计也记录到了海底电缆上的异常电流。

地震之所以能引起电磁场的变化，一般认为其原因有两个，一是地震前岩石在地应力作用下出现“压磁效应”，从而引起地磁场局部变化；二是地应力使岩石被压缩或拉伸，引起岩石电阻率变化，使地磁场发生相应的局部变化。岩石温度的改变也能使岩石电磁性质改变。唐山地震前两天，距唐山200多公里的延庆县测雨雷达站和空军雷达站，都连续收到来自京、津、唐上空的一种奇异的电磁波。因此，观测电磁场的变化也成为预报地震的主要手段之一。

（5）动物异常反应

1978年，在美国地质调查局出版的《地震震情通报》中刊出一幅幽默照片，照片上有一只黑猩猩紧闭双眼，张开大嘴用力叫喊。照片下面写着“我能预报地震，地震学家们为

目前已发现地震前其行为有一定反常表现的动物有130多种，其中反应普遍且比较确切的约有20多种。

什么不能?”照片的作者可能是要大家更相信动物能预知地震，而不是讽刺地震学家。

的确，当人们在总结地震经验时，常常会提到震前动物行为的异常现象，可惜的是在震前很少有人对此进行防范。1902年5月8日，意大利提尼克岛火山爆发，有3万多人死于非命。在清理废墟时，只见到一只猫的尸体。原来所有的猫早已逃走了，不仅如此，在火山爆发前一个月，城郊树林里已听不到鸟叫。5月3日，一位中学教师在日记中写到“狗吠，母牛在路上急促地奔跑”。如果人们在事前早有警觉，这次灾情便会大大降低。

据统计，目前已发现地震前其行为有一定反常表现的动物有130多种，其中反应普遍且比较确切的约有20多种，常见的如下：

大牲畜，如马、驴、骡、牛等；

家畜，如狗、猫、猪、羊、兔等；

家禽，如鸡、鸭、鹅、鸽子等；

穴居动物，如鼠、蛇、黄鼠狼等；

水生动物，如鱼类、泥鳅等；

会飞的昆虫，如蜜蜂、蜻蜓等。

这些动物的反常表现大体有三类：

① 兴奋型异常。如惊恐不安、不进圈、狂吠，如癫如狂，仓皇逃窜；惊飞、群迁等。

② 抑制型异常。如行动变得迟缓，或发呆发痴，不知所措，或不肯进食等。

③ 生活习性变化。如冬眠的蛇出洞，老鼠白天活动不

动物异常的原因很复杂，很多时候与地震之间没有任何关系，所以在观察宏观变化时，一定要注意识别真伪，并及时向地震部门报告。

怕人，大批青蛙上岸活动等。

应该说明的是，动物异常的原因很复杂，很多时候与地震之间没有任何关系，所以在观察宏观变化时，一定要注意识别真伪，并及时向地震部门报告。

(6) 奇怪的地声现象

在地震前数分钟、数小时或数天，往往有声响自地下深处传来，人们习惯称之为“地声”。

据调查，在1976年距唐山7.8级地震震中100公里范围内，在临震前尚没入睡的居民中，有95%的人听到了震前的地声。震前地声最早出现在7月27日23时左右，这些早期听到的地声比较低沉。如在河北遵化县、卢龙县，很多人在27日晚23时听到远处传来连绵不断的“隆隆”声，声色沉闷，忽高忽低，延续了一个多小时。在京津之间的安次、武清等县听到的地声，就像大型履带式拖拉机接连不断地从远处驶过。在强烈地震到来前半个小时到几分钟内，震区群众听到了不同类型的地声。据后来人们回忆，有的听来犹如列车从地下奔驰而来，有的如狂风啸过，伴随飞沙走石、夹风带雨的混杂声，有的似采石放连珠炮般声响，在头顶上空炸开，或如巨石从高处滚落。这奇怪的声响和平日城市噪声全然不同。

地声一般出现在震前几分钟、几小时、几天或几十天内。实际上于临震前几分钟内出现者居多。所以地声可当作一种临震的信号。有的震区就是因为重视奇怪的地声现象，采取了及时的防御措施使人们躲过了灾难。

1830年6月12日河北磁县发生7.5级大震，震前人们

根据地声的特点，能大致判断地震的大小和震中的方向。

听到地声如“雷吼”，若“千军涌溃，万马奔腾”，于是“争先恐后，扶老携幼，走避空旷之区”，紧接着发生了“屋宇倾颓，砖瓦雨下”的地震灾害。

1855 年 12 月 11 日辽宁金县发生 5～6 级地震，当地人民“未震之时，先闻声如雷”，于是“早已预防”，从住房里躲避出来，所以“只伤男妇子女共七名”，大大减轻了伤亡和损失。

根据地声的特点，能大致判断地震的大小和震中的方向。一般说，如果声音越大，声调越沉闷，那么地震也越大；反之，地震就较小。当听到地声时，大地震可能很快就要发生了，所以可把地声看作警报，应该立即离开房屋，采取紧急防御措施，避免和减少伤亡损失。

（7）地光现象

1966 年苏联塔什干发生地震，一位工程师听到左方传来发动机隆隆的响声，同时闪现出耀眼的白光，晃得睁不开眼，持续了 4.4 秒钟，接着地震来了，几乎把他摔倒在地上。地震过后，白光消失。

地震伴有发光现象并非偶然。在我国近年就至少有二三十次地震伴有地光。地光的颜色很多，有红、黄、蓝、白、紫等（彩图 8.1）。地光的形状不一，有的呈片状或球状，也有电火花似的。地光的出现时间一般很短，往往一闪而过，所以不易观测。

1975 年 2 月 4 日我国海城、营口发生 7.3 级地震时，东自岫岩，西到绵县，北起辽中，南到新金，当时震区有 90％的人都看到了地光，近处可见一道道长的白色光带，远处则见到红、黄、蓝、白、紫的闪光。此外，还有人看到从地裂缝内直

地光是地震前大自然向我们发出的警报。

接射出的蓝白色光，以及从地面喷口中冒出粉红色火球，火球像信号弹一样升起十几米到几十米后消失。

地光发生的原因有人认为是地震前地电和地磁异常，使大气粒子放电发光所致；也有人认为是放射性物质的射气流从地下的裂缝中射出，在低空引起大气电离，因而发光。尽管原因还没有彻底搞清楚，但由于地光多出现在大震之前，因此它是临震前的一种前兆现象，可以用来进行临震预报。1976年5月29日20时23分和22时在云南的龙陵、潞西一带发生7.5级与7.6级两次强烈地震时，负责地震值班的同志观察到震区上空出现一条橘红色的光带，便当机立断，拉响了警报器，疏散人员，从而避免了重大伤亡。

1976年7月28日3时42分河北的唐山、丰南一带发生7.8级大震，从北京开往大连的129次直达快车，满载着1400多名旅客于3时41分正经过地震中心唐山市附近的古冶车站，这时司机发现前方夜空像雷电似的闪现出三道耀眼的光束，他果断沉着地使用了非常制动闸，紧急刹车，大地震发生时，列车却稳稳地停驶下来，避免了脱轨和翻车的危险，保证了列车和广大旅客的安全。

地光是地震前大自然向我们发出的警报。虽然时间很短，稍纵即逝，但当观察到这种地震前兆后，应该利用这个短短的时间，争分夺秒，立即采取防避措施，减免生命财产的损失。

(8) 大气异常

地震前，尤其是大震前，通常会出现多种反常的大气物理现象，如怪风、暴雨、大雪、大旱、大涝、骤然增温或酷热蒸

地震前，尤其是大震前，通常会出现多种反常的大气物理现象。

腾等，与此相应的温度、气压、湿度的变化，会使人体感到不适。

1503 年 1 月 9 日，江苏松江地震，有震前“有风如火”的记载。

1668 年 9 月 2 日，山东莒县地震，有震前“酷暑方挥汗”、“日色正赤如血”的记载。

1920 年 12 月 16 日，宁夏海原地震，有“未震之前数日，四面天边，变黄如火焰，晴空干燥，人均感觉焦灼干燥”的记载。

1925 年 3 月 16 日云南大理地震，震前“久旱不雨，晚不生寒，朝不见露”。

1975 年 2 月 4 日，辽宁海城 7.3 级大地震之前，虽时值严冬季节，天气却特别暖和，有时能听到雷声；个别阴坡没有冻土，长出青草，有的地方还发现蝴蝶和昆虫。1 月 31 日出现高温低压，从 2 月 2 日起气温连续上升，气压急剧下降，到 2 月 4 日，日平均气温出现顶峰，比常年高 8 度。另外，2 月 3 日上午 3 时至 10 时，震区气温突然上升，形成一个以海城为中心的急剧升温区，两个小时内海城增温 12 度，而离海城较远的大连市仅增温 2 度。

1973 年 2 月 6 日四川炉霍发生 7.9 级地震，“震前几小时风尘大作，风向紊乱，上下乱窜”。1966 年 2 月 5 日，云南东川发生 6.5 级地震的前三日连续有霾，震前一日霾的浓度最大。1971 年 3 月 23 日新疆乌什发生 6.3 级地震前几天，雾气腾腾，灰尘满天。1975 年 2 月 4 日辽宁海城 7.3 级震前不久，星空突然昏黑，地上伸手不见五指，大震过去后，很快

临震大气物理现象都不是孤立的，但由于地震前兆现象和气象本身的自然现象容易混淆，还必须进一步加强研究。

又亮了起来。

大震前的各种大气异常现象，近年来有很多报道，可以说，临震大气物理现象都不是孤立的，但由于地震前兆现象和气象本身的自然现象容易混淆，还必须进一步加强研究。

9 工程如何抗震设防

尽管各国的地震科学家都在努力从事地震预报的研究，并且也确实取得了一些可喜的进展，但是由于地球科学的复杂性，地球深部看不见摸不着，且地震发生的周期长，大大增加了地震预报实践的难度。因此，地震的发生仍在威胁着人们的生命和财产安全。

在地震预报问题解决之前，即便科学家能够准确预报地震的发生，人们仍要走防震减灾的道路。

1998年3月1日起实施的《中华人民共和国防震减灾法》，把我国的防震减灾工作纳入了法制化管理的轨道。

9.1 工程抗震设防——减轻地震灾害的关键

大家知道，地震灾害主要表现为地震力作用下发生的建筑物、工程设施的破坏、倒塌，并由此造成人员伤亡和经济损失。据统计，地震时90%～95%的人员伤亡是由于各种建筑物倒塌造成的。因此，各种工程建筑和工程设施，保证工程质量和具备抗震设防能力是减轻地震灾害的关键。

许多多地震国家的政府都对城市规划、重要工程的选址、设计和施工提出了抗震设防要求，并制定了相应的法律法规。1998年3月1日起实施的《中华人民共和国防震减灾法》，把我国的防震减灾工作纳入了法制化管理的轨道。该法规定："建设工程必须按照抗震设防要求和防震设计规范进行抗震设计，并按照抗震设计进行施工，已经建成的重大工程的建筑物，未采取抗震设防措施的，应当按照国家有关规定进行抗震性能鉴定，并采取必要的抗震加固措施。"国务院也先后批准实施《工程地震安全性评价》和《工程建筑场地地震安全性评价技术规范》等行政法规，这便从法律法规上保障了我国重大工程建筑防御地震袭击，减少地震危害和人民生命财产损失。

抗震设防首先要在对地区和建设场地进行地震安全性评价的基础上，搞好国土开发规划和重要工程的建设，使城镇和工程建设避开易造成地震灾害的不利地段，选择安全的场地，并明确规定重大项目等工程的抗震设防标准；其次要

国内外震例均表明，场地条件是引起地表震害或地震局部变化的主要因素。

使新建工程和建筑物依据抗震设防标准进行抗震设计和设防，尤其是重大工程和核电站、水库堤坝、供水、供电、通讯交通等生命线工程不仅抗震设计和设防要符合标准，而且还要做好震害预测工作，对没有达到抗震要求，而又要长期使用的建筑物，应采取加固措施。城镇生命线工程是维护城市的正常功能的命脉，在抗震设防和震害预测方面绝不能马虎。

1994 年美国加州北岭地震和 1995 年日本阪神地震，虽然地震发生在经济发达、人口稠密地区，造成的经济损失极大，但伤亡人数远远低于 1999 年土耳其伊兹米特地震、2001 年印度古吉拉特邦地震。2003 年阿尔及利亚地震，震级并不高却造成了比较大的人员伤亡和建筑物倒塌。这与发达国家高度重视结构抗震，采取措施设防有密切关系。血的经验和教训告诉我们，提高工程抗震能力，震后及时有效地救助是减轻地震灾害的重要途径。

9.2 工程抗震设防与工程场地

场地条件一般指局部地质条件，如近地表几十米至几百米内的地基土壤、地下水位等工程地质情况、微地形以及有无断层破碎带通过等。国内外震例均表明，场地条件是引起地表震害或地震局部变化的主要因素。

场地条件对震害或地震烈度的影响很早就为人们所认识。1906 年旧金山大地震中，市内软弱地基上显著的震害已为人们所重视。苏联的默德韦杰夫第一个系统地提出场地条件对地震烈度的影响，而且其理论后来又为规范所引

场地土壤对震害的影响在场地条件中占首要地位，几乎在每次大地震的现场中都可以看到这种影响的事例。

用，第二位是日本的金井清。我国在考虑场地土壤对反应谱形状影响的工作早于美国、苏联、日本，并且和罗马尼亚草拟的八国抗震规范草案相似。

（1）场地土壤条件的影响

场地土壤对震害的影响在场地条件中占首要地位，几乎在每次大地震的现场中都可以看到这种影响的事例。

我们把场地土壤分为三大类，第一类是坚硬的岩石，第二类是一般常见的硬至中硬的土层，第三类是软弱、松散和水位很高的淤泥质地基或饱和粉细砂地基。这三种地基的特性迥然不同，从抗震角度看，它们的差异至少有两方面。第一，它们的刚度不同，因此地震波在其中传播的情况也不同，刚度大则传播速度快，而衰减慢；第二，它们的动力强度不同，基岩强度很高，在地震波作用下，一般不致破坏；相反，软弱地基则在地震波作用下很容易产生地基失效，如软粘土容易产生振陷，饱和松散粉细砂容易液化。因此，不同的层厚或不同几何形状的地基，就会具有不同的动力特性，从而影响到在其中传播的地震波的动力特性，进而影响到震害或地震烈度。

（2）断层对烈度的影响

从工程角度看，地震断层可以分为两种，一种是发震断层，即断层破裂引起地震，也就是说，地震时它释放出了能量。发震断层一般在极震区内。另一种是非发震断层，即地震中它并未释放能量。

发震断层对烈度分布的影响很大，因为它释放出巨大的能量，以地震波形式向外传播，对工程建筑物造成破坏。发

美国著名地震学家詹姆斯·格雷曾说过："杀死人的不是地震，而是建筑物。"

震断层的另一影响是由断层位错引起的地基失效造成的各种破坏，如滑坡。后者仅限于断层区内的局部地区，发震断层对烈度的影响是毫无疑问的。

对于非发震断层对地震烈度的影响尚有不同意见。一种认为，在确定了地震危险性或烈度区划之后，对于非发震断层上的场地，还要再提高其设计烈度，因为不论将来何处发生地震，非发震断层的震害还会高于附近场地的震害。持这种意见者认为过去的现场经验说明了这一点。另一种意见认为，非发震断层的影响可在场地土壤条件中加以考虑，实际上若能肯定其为非发震断层，历史经验证明除场地土壤条件之外，它对震害并无明显影响。由此可见，引起争论的重要原因之一是对历史地震经验有重大分歧。

在宏观震害调查中，除场地土壤及发震断层对震害的影响外，国内外也曾多次发现，在孤立的小山包、小山梁的房屋震害一般比较严重。

9.3 建筑物的结构抗震性能

地震灾害的特点表明，破坏性地震引起的人员伤亡和经济损失，主要是由于建筑物的破坏和倒塌以及伴随而来的一系列次生灾害所造成。美国著名地震学家詹姆斯·格雷曾说过："杀死人的不是地震，而是建筑物。"他的话十分精辟地表述了这样一个无情的事实：遭遇破坏性地震时，很多人是死于劣质房屋的瓦砾下。建筑物有没有达到抗震设防标准，有没有进行抗震设防设计，在遭遇地震时，所遭受的破坏程

造成两个城市破坏程度的差异是建筑设计上的原因。

度大不一样。

1976年一次7.8级地震摧毁了中国的唐山市。灾区人口约150万，大部分人失去了家园，死亡多达24.2万人，整个城市变成了一片废墟(图9.1、图9.2)。9年后的1985年，同样一次7.8级地震在智利瓦尔帕莱索附近发生，灾区人口约100万。尽管地震震级相同，但瓦尔帕莱索仅有150人死亡，并且只有中等程度破坏。



图9.1　地震发生后的唐山市一角

造成两个城市破坏程度的差异是建筑设计上的原因，瓦尔帕莱索采用了现代抗震设计来防止建筑物倒塌和使破坏最轻，而唐山未曾这样做。在瓦尔帕莱索只有有限的住宅、商业和工业遭到破坏，与唐山几乎遭受全部破坏的情况形成鲜明对照，为加强抗灾设计和提高工程质量提供了一个衡量

建筑物易损性是指一个确定区域内由于地震发生造成损失的程度。



图 9.2　地震将唐山夷为平地

的尺度。

再如，1989 年 10 月 8 日美国南加利福尼亚州发生 7.2 级大地震，死亡人数仅 47 人；而 1993 年 9 月 30 日印度马哈拉斯拉邦发生 6.4 级地震，震级小得多，但当地房屋质量低劣，地震时纷纷倒塌，死亡人数竟达 25000 人。

这种地震损失程度的差异，引出了一个重要的概念——建筑物易损性。

建筑物易损性是指一个确定区域内由于地震发生造成损失的程度。在一次地震中，房屋没有抵御地震的能力，全部倒塌了，其易损性为 1；相反，若建筑物达到抗震设防标准，在地震中完好无损，则其易损性为 0。显然，一座城市、一个地区的建筑物抗震性能越好，在发生地震时其易损性越小，

对新建工程按抗震设防标准进行抗震设计，对现有不符合抗震设防标准要求的建筑物进行抗震加固，增强建筑物抗震能力可以大大地减轻地震造成的灾害。

所造成的破坏也越轻。

对新建工程按抗震设防标准进行抗震设计，对现有不符合抗震设防标准要求的建筑物进行抗震加固，增强建筑物抗震能力可以大大地减轻地震造成的灾害。例如新丰江水库大坝，由于事先及时采取了抗震加固措施，于 1962 年成功地抗御了当地 6.1 级地震的袭击。1966 年邢台地震后，当地采取了一系列抗震措施，1981 年 11 月在原地再次发生 5.8 级地震时，房无毁坏，人无死亡。而江苏省溧阳县在 1974 年地震之后没有采取抗震措施，致使 1979 年原地再次发震时，房屋毁坏为 1974 年地震的 10 倍。

2004 年 8 月 10 日云南省鲁甸县发生 5.6 级地震，虽然震级不大，但造成了严重的灾害(图 9.3)。据不完全统计，该



图 9.3　鲁甸地震中倒塌的民房

《中华人民共和国防震减灾法》对工程如何抗震设防的具体规定。

次地震中共造成4人死亡，伤594人，倒塌民房18556间，各类房屋损失共计3.1亿元人民币。另外，该次地震中有22座水库出现大坝裂缝、坝坡渗水以及部分泄洪及管理设施震裂等险情，造成水库下游约有4.7万人受到威胁。教育、卫生、交通、通讯、水利等基础设施不同程度受损，共造成经济损失4亿多元。受灾严重的主要原因是由于建筑物抗震性能太差造成的，当地房屋大多都是土木结构，土坯墙承重，没有抗震能力，在强烈地震的作用下，倒塌破坏必然严重。

9.4 工程如何抗震设防

历史地震震害表明，建筑物的地震破坏与建筑物的结构类型、抗震强度有密切关系，如钢筋混凝土框架结构、单层平房、多层砖房等建筑，在相同烈度下破坏的轻重程度却不同，即使是相同的建筑结构设计，如若具备抵抗不同等级地震的技术设计指标，也会导致不同程度的破坏。

《中华人民共和国防震减灾法》中规定：新建、扩建、改建建设工程，必须达到抗震设防要求。一般的建设工程，必须按照国家颁布的地震烈度区划图规定的抗震设防要求，进行抗震设防。

那些对社会有重大价值或者有重大影响的工程，也就是重大建设工程和可能发生严重次生灾害的建设工程，必须进行地震安全性评价，并根据地震安全性评价的结果，确定抗震设防要求，进行抗震设防。

可能产生严重次生灾害的建设工程，是指遭受地震破坏

建设工程必须按照抗震设防要求和抗震设计规范进行抗震设计，并且要按照抗震设计进行施工。

后可能引发水灾、火灾、爆炸、剧毒或者强腐蚀性物质大量泄漏和其他严重次生灾害的建设工程，包括水库大坝、堤防和贮油、贮气、贮存易燃易爆、剧毒或者强腐蚀性物质的设施以及其他可能发生严重次生灾害的建设工程。核电站和核设施建设工程，受地震破坏后可能引发放射性污染的严重次生灾害，必须认真进行地震安全性评价，并依法进行严格的抗震设防。

建设工程必须按照抗震设防要求和抗震设计规范进行抗震设计，并且要按照抗震设计进行施工。建设工程抗震设防要做好三个环节的工作，一是选择有利抗震的场址，二是按抗震设防要求进行科学设计，三是要精心施工，确保质量。

新建工程要根据工程的重要程度、工程特点、使用年限，参照《中国地震烈度区划图》，慎重选址并对场地进行地震安全性评价，在此基础上提出抗震设防要求。要尽量避开地震活动断裂；避开易产生砂基液化的地区，如古河道、洼地、池塘、沙滩、沿海堆积平原等；避开陡坡、地下溶洞、河岸等。这方面的教训是很多的。像摩洛哥阿加迪尔市地下刚好是活动断裂的交叉处，结果 1960 年 2 月在距市区仅几千米的地方发生了 5.8 级地震，全市总人口 3.8 万，死 1.31 万人，伤 1.2 万人，伤亡率达 70% 以上。墨西哥城、秘鲁首都利马和我国四川自贡市等都因为选在了不利抗震地段而在地震时遭到过严重破坏。

设计是抗震设防的中间环节，又是重要环节。根据抗震设防要求，按照规范规定，选择科学合理的建筑结构，采用抗震新技术，以增强建筑物的整体性、均衡性，提高建筑物的抗

百年大计，质量第一，这是基建施工部门应该严格遵循的原则。

震能力。

此外，还要精心施工，确保工程质量。百年大计，质量第一，这是基建施工部门应该严格遵循的原则。按设计要求严格掌握所用建筑材料的规格和标准，施工依照工作规范和质量标准，贯彻落实于施工全过程，加强施工的质量监督、检验和对施工人员技术培训，严格把关，环环扣紧。这样才能保证提高建筑物的抗震性能。

震惊全国的浙江省"7・12"特大坍楼大案，就是因为要节省 2000 元而改变设计，施工中又严重违章，造成 36 条生命葬身废墟，造成直接经济损失 550 余万元。这是一个血的教训。日本人曾经把 1995 年 1 月 17 日阪神大地震形象地比喻为偷工减料行为的展览会和曝光台。日本著名建筑公司清水建筑公司建造的总面积 3345 平方米的 9 层公寓在地震时遭到严重破坏不能使用。经检查发现，水泥梁应该埋入 7 根钢筋而实际只埋入了 3 根，一层交叉铺设的钢筋没有捆绑，三楼水泥柱中发现当年施工人员扔进的空饮料罐等。山阳新干线高架桥脚断裂处，发现当年施工人员在钢筋中忘记取走的木棍。这就像在病人腹腔手术时医生遗留下的纱布卷和手术刀一样，给工程留下了极大的隐患。

随着人民生活水平的提高，我国城乡居民特别是农村新盖住房如雨后春笋，这本是一件可喜的事。然而，不少农村新建房屋没有经过正式设计，更没有考虑抗震设防措施。以致后来地震发生时，造成大量新房出现裂缝、倾斜或者坍塌，致使自己多年辛勤劳动的心血付之东流，追悔莫及。

1986 年 11 月 15 日台湾花莲发生 7.6 级强震，波及到福

经验表明：有“木结构”承重的房屋，抗震性能较好。

建省福清县（当地烈度为5～6度），使新建不足一年的128间新房震倒或者出现开裂。经调查，发生这种情况的根本原因是这些新建房屋是用卵石和块石堆砌而成，根本不具备抗震能力。

经验表明：有“木结构”承重的房屋，抗震性能较好。在海城地震时，即使烈度为9度的地区，木结构房屋完全落架倒塌的也不多。

搞好建筑物的抗震加固也是防震减灾工作的重要环节。普通民房提高抗震性能的办法有以下几条：

（1）要选用基岩和干燥密实的土层作地基，避开活动断层，避开松散的砂层、淤泥层、人工填土层以及古河道、旧池塘和河滩地。在此要特别强调的是，容易液化的砂层和容易产生开裂、沉陷、滑移的陡坡河坎，尤其不宜选作地基。

（2）软弱地基要采取措施，严防不均匀下沉。潮湿多雨地区要注意排水，不能修建地下设施。

（3）房屋平面布置要力求与主轴对称，并尽可能简单。

（4）房屋重心要低，屋顶用轻质材料，尽量不做或少做那些既笨重又不稳定的装饰性附属物，如女儿墙、高门脸等。

（5）房屋的高度和平面尺寸要有所限制，房屋之间应适当留建防震缝。

（6）结构要力求匀称，构件要联成整体，要采取措施加强连接点的强度和韧性。

（7）墙体在交接处要咬合砌筑，承重墙上最好设置圈梁，并在横墙上拉通。横墙应密些，尽量少开洞，屋顶与墙体应连成整体，预制板在墙或梁上要有足够的支撑长度。

老旧房屋常用的一些简单加固方法。

(8) 建筑材料要力求比重轻、强度大，并富有韧性。

(9) 提高施工质量，认真按操作规程办事，土坯砖块要错缝咬砌，灰浆要饱满，千方百计提高抗震强度。

对老旧房屋进行抗震加固，在震前能安定群众情绪，保障社会安定；震时能有效地保障人民群众的生命财产安全，作用不可低估。我们常用的一些简单加固方法有以下几种。

(1) 对墙体的加固。墙体有两种，一种是承重墙，另一种是非承重墙。墙体破坏较多的是开裂和歪倒，加固的方法有拆砖补缝、钢筋拉固、附墙加固等，应视不同情况灵活采用。

(2) 对楼房和房屋顶盖的加固。一般采用水泥砂浆重新填实，配筋加厚的方法。

(3) 对建筑物突出部位的加固。如对烟囱、女儿墙、出屋顶的水箱间、楼梯间等部位，要采取适当措施设置竖向拉条，拆除不必要的附属物等方法进行加固。

总之，建设工程必须符合抗震设防要求，才能保证地震发生时减少人员伤亡和经济损失。

10 当地震来临时

地震发生前，尤其是在地震长期预报、中期预报及短临预报发出后，能否动员起人民群众广泛而有效地开展好地震应急工作至关重要。地震应急工作是影响地震灾害损失程度的重要因素。也是关系到社会稳定，震后生产和生活秩序的尽快恢复及国民经济可持续发展的大事。

我国是世界上地震灾害最严重的国家之一，20 世纪地震造成的死亡人数列全球第一，我国 70％以上的城市受到不同程度的地震威胁。专家预计，在未来一段时间内，我国 6 级以上地震多次发生的可能性很大。因此人们有理由要求政府提供切实

地震应急工作的具体内容。

可靠的防震减灾办法，采取必要的预防措施，建立起有效的救援准备预案，以便在地震发生时尽可能减少伤亡和损失，减少对经济和社会的冲击，最大程度地减小地震对人类所造成的破坏。

目前，地震预报还无法和气象预报相比，地震的发生往往毫无防范，具有突然性；我国是发展中国家，绝大部分地区，工程设防标准和防范地震的能力都很低，地震灾害在所难免，当地震来临时，应该怎么办，如何最大限度地减少损失和人员伤亡，政府部门、单位和个人应采取哪些地震应急措施都已成为整个社会极为关注的课题。

10.1 什么是地震应急

地震能否造成灾害及所酿灾害的严重程度，还取决于人及社会自身对地震的预防应对及震后反应状况，即地震的应急工作。即使是一次发生在人烟稠密地方的强震，假如人们具有足够的警觉，能预知地震的发生，并做好了充分抵御震灾的应急准备，那么灾害就能大为减轻，甚至不构成灾害。因为地震灾害是作用于人类社会而产生的后果，所以能否产生灾害，或造成的灾害大小，不仅取决于地震自身，还取决于人及社会的警觉程度和防御状况。包括人们赖以生存的建筑物及某些自然物，如住房、生命线工程及陡壁、山坡等，均进行抗震设防，使其有足够的抵御强震的能力。

地震应急工作指在地震预报发出后及地震发生之后，政府部门及各相关负责单位以确保人民生命和财产安全，使社

会保持稳定，最大限度地减轻地震灾害的影响所制定的紧急方案。应急工作包括临震应急和震后应急。应急工作的好坏对地震灾害的损失程度有很大的影响。

从我国与世界防震减灾工作的现状来看，普遍是采用加强地震工程建设和应急指挥能力的措施来抗御地震灾害。

1998年1月10日河北省张北—尚义县发生6.2级地震，灾区人民生命财产遭受了损失。到1月27日春节，在不足20天的时间内，灾区群众全都住进保温简易房，村村恢复了通电，人人穿上御寒衣服，家家暖暖和和过大年。尽管震后气温骤降到零下30℃，整个灾区没有一人冻死和饿死，没有出现一例传染病病例，灾区社会秩序稳定，没有发生一起治安刑事案件。张北灾区之所以能在短短的时间内出现这样的安定局面，是党中央、国务院的关怀和河北省委、省政府努力的结果。据了解，河北省各级政府和部门、解放军和武警部门以及地震部门近年来制定了地震应急预案，在地震发生后，各部门依据地震应急预案，立即投入抢险救灾，使灾区各项救灾活动有条不紊地开展起来。

10.2 我国地震应急工作法规

为了进一步加强防震减灾工作，提高对破坏性地震的应急反应和指挥能力，国务院办公厅于2000年2月24日成立国务院抗震救灾指挥部。中国地震局作为指挥部办公室，负有提供指挥场所和建设技术系统的职责。

2000年9月5日中国地震局下发了《关于加快国务院抗

应急工作包括临震应急和震后应急工作。

震救灾指挥部技术系统建设的通知》，根据文件指示精神，中国地震局成立了指挥部技术系统建设领导小组，下设办公室；并成立指挥部技术系统建设工程实施组，由地震分析预测中心负责组织并承担工程建设任务。文件指示，充分利用现有成熟的高新技术手段，建立国务院抗震救灾指挥部技术系统，为国务院领导和有关部门指挥抗震救灾提供各种必要支撑条件，完善国家防震减灾指挥中心的各项功能，以提高国家抗震救灾指挥的总体水平。

中国地震局于 2000 年 10 月 8 日出台了《国务院抗震救灾指挥部技术系统建设实施方案》。明确了“国务院抗震救灾指挥部技术系统建设”项目由中国地震局分析预测中心承建，其主要内容包括：

(1) 建立服务于应急快速响应、灾情动态跟踪、数据分析、对策生成、辅助决策、应急指挥的防震减灾管理信息系统；

(2) 建立防震减灾工作需要的计算机软硬件平台、通信平台、网络平台、控制平台等；

(3) 建立我国各类基础信息的数据库及数据库管理系统；

(4) 建立地震现场信息的接收处理系统。

10.3 地震应急预案和临震应急对策

应急工作包括临震应急和震后应急工作。地震发生后，应立即启动震后应急预案，根据地震应急预案，统一指挥，各

震灾抢险的实践表明，有无地震应急预案，其后果大不一样。

司其职，各负其责，采取有效抢救措施，对被埋压伤员和处在火、毒气等危险现场的遇难者进行抢救和救护，以尽快使更多的蒙难者脱险。对危重伤员采取救治措施，减少伤残和死亡。对处于危险房屋的群众进行疏散、安置，妥善解决灾民的吃、喝、穿、住等紧急生活问题。要采取措施控制灾情，防止续发性灾害蔓延。及时处理好尸体和卫生防疫，以防瘟疫发生。紧急抢修交通、供水、供电、通讯等生命线工程。对于可能造成灾害的危险因素和险情要加强监视、控制和排除。做好宣传和安全保卫工作，迅速恢复社会生活和生产秩序。

震灾抢险的实践表明，有无地震应急预案，其后果大不一样。如唐山7.8级地震前没有应急预案和救灾计划，遭遇地震袭击后，当地政府无力指挥，失去了最宝贵的抢险时间，大大加剧了灾区人民的伤亡。相反，1992年10月20日甘肃省天祝—景泰发生6.2级地震，由于震前有应急预案，并组织过演习，震后5分钟指挥人员就到达岗位，并迅速带领各路人员和赈灾物资等开赴灾区。当省慰问团工作组到达震区时，伤员已得到救治，灾民也得到了很好的安置。

国务院1995年172号令，发布了《破坏性地震应急条例》，使我国地震应急工作纳入法制轨道，保证了防震减灾的顺利进行。目前，各级政府和有关部门正在完善当地破坏性地震应急预案。有了预案，不论发生什么突发性灾害，都心中有底，不会手忙脚乱、不知所措，从而为抢险救灾赢得宝贵时间，减少伤亡和损失。

临震应急是在长期、中期、短期及临震预报发布后，各级政府部门根据本地区的情况制定的相应对策、措施，在临震

短临预报发布之后，各有关地区的各级人民政府应按应急方案紧急行动。

应急状态下需组织动员各部门针对地震的发生做好充分准备。

《中华人民共和国防震减灾法》规定，以下部门必须制定地震应急预案。从上到下分级制定：

(1) 国家级预案。国务院地震行政主管部门会同国务院有关部门制定国家破坏性地震应急预案，报国务院批准。该预案已于 1997 年由国务院发布实施。

(2) 部委级预案。国务院有关部门应当根据国家破坏性地震应急预案，制定本部门的破坏性地震应急预案，报国务院地震行政主管部门备案。目前已有部分部委正式制定。

(3) 可能发生破坏性地震地区的县级以上地方人民政府负责管理地震工作的部门或者机构，应当会同有关部门参照国家破坏性地震应急预案，制定本行政区域内的破坏性地震应急预案，报本级人民政府批准。

(4) 省、自治区和人口在 100 万以上的城市制定的破坏性地震应急预案，还应当报国务院地震行政主管部门备案。

在中期预报发布之后有关部门应该做到：

(1) 重点监视区所在地的各级人民政府应当设置地震防灾指挥机构，统一组织领导防灾工作；

(2) 重点监视区所在地的各级人民政府应当根据震害预测情况制定地震防灾规划，确定防灾措施和应急方案。其主要内容是危房和设施的检查及加固，防灾体系的建立和技术研究，避难路线的设定，抢救队伍的组织和技能训练，快速通讯的保证以及由地震可能引起的火灾、水灾、滑坡、爆炸及有害气体的逸出等方面的防范措施。

破坏性地震一旦发生，地震救灾指挥机构应立即组织灾情调查和评估并及时向上级救灾指挥机构如实报告灾情。

短临预报发布之后，各有关地区的各级人民政府应按应急方案紧急行动，要做到：

（1）准备好抢险救灾所必需的一切条件和物资；

（2）大力宣传地震科学知识和防震办法；

（3）危险地带或危险建筑物内的人员和重要设施的撤离与安排；

（4）报警系统的建立和实时通讯的保障；

（5）维护社会生活和工作的正常秩序，加强治安管理；

（6）成立救灾指挥机构统一指挥抢险救灾工作。

破坏性地震一旦发生，地震救灾指挥机构应立即组织灾情调查和评估并及时向上级救灾指挥机构如实报告灾情。快速组织对伤病人员的抢救治疗，抢修并保证供水、供电、交通、食品等生命线工程的运转和基本供给。尽快组织恢复生产，维护好社会治安，灾区各级人民政府还应做好对国内外提供的紧急救灾物资和对灾区援助的合理调配。

《中华人民共和国防震减灾法》还规定：国家鼓励、扶持地震应急、救助技术和装备的研究开发工作。可能发生破坏性地震的地区，县级以上地方人民政府应当责成有关部门进行必要的地震应急、救助装备的储备和使用等训练工作。

地震应急预案制定以后，为使其有很强的可操作性，必须搞好以下几项工作：

（1）落实预案中的重要事项。其中包括预成立本部门的抗震救灾指挥机构、办事机构；制定与预案配套的应急救援方案，比如队伍和物质调配方案、通用物资保障和次生灾害危险源防范措施等。

作为防震减灾的一个组成部分，地震发生后的抢险救灾及重建工作对减轻地震灾害，加强震后应急工作起着非常重要的作用。

（2）加强防震抗震知识宣传，增强民众防灾减灾意识，使群众科学地掌握一定的自救互救和避震方法与技术，起到减轻灾害程度，保护生命的作用。

（3）进行适度的演习训练，一方面使制定的预案让有关的人员熟悉，便于在特殊紧急情况下运用自如，特别是主管部门和预案中负责主要任务的部门。通过演练熟悉自己的岗位和职责，做到有备无患，临危不乱。同时也是对各个组织机构的职责和各阶层公众参与程度的很好检验，通过演练发现问题，进一步予以完善。另一方面，通过演练，让大家掌握更多的地震知识、避震技巧和方法，有了知识和思想上的准备，就能在地震发生时获得最佳减灾效益。

10.4 震后抢险救人

作为防震减灾的一个组成部分，地震发生后的抢险救灾及重建工作对减轻地震灾害，加强震后应急工作起着非常重要的作用。

震后抢险是指建筑物的排险、生命线工程的抢修，其目的在于防止地震次生灾害，比如地震火灾、地震水灾和余震的继发性破坏，并为恢复社会功能创造条件。震后救灾，首先是救人，包括营救被废墟压埋的人员，灾民生活的救济和配置，人员的救治以及死亡人员的掩埋处理等。震后的抢险与救灾，是减少人员伤亡和减轻经济损失很重要的两个方面，可形象地称之为“一手救人，一手救物”。

在原发性伤亡中，90％～95％是致命性外伤。如山区，

继发性伤亡多数是由传染病蔓延所致，其次是由于吃了不洁净食物引起的肠胃病和因为受巨大精神刺激引发的神经紊乱造成。

受山石、土石、树木砸击；在城区，受墙体、顶板、室内悬空装饰物的撞击，其中脑外伤占首位。除此之外，还有土埋窒息、烧伤和冻伤等。1975 年海城地震预报成功，大大减少了伤亡，但震后因防震棚失火，烧伤 980 人，烧死 341 人；震后正值寒流袭来，简陋的防震棚难以御寒，又冻伤 6578 人，冻死 372 人。没有被地震砸死砸伤，却因震后的火灾和严寒而伤亡 8271 人。

继发性伤亡多数是由传染病蔓延所致，其次是由于吃了不洁净食物引起的肠胃病和因为受巨大精神刺激引发的神经紊乱造成。继发性伤亡又称二次伤亡，主要是由于震后卫生条件遭到破坏、卫生环境急剧恶化、卫生防疫体系不能正常运转造成的大范围的群伤群亡事件。传染病（又称瘟疫），尤其是烈性传染病、自然疫源性疾病和人畜共患病等危害最大。历史上震后瘟疫流行屡见不鲜，有时死于瘟疫的人数甚至会大大超过直接死于地震的人数。

1556 年陕西华县 8 级大地震，死亡的 83 万人中，据估计死于瘟疫者不下七八成。唐山地震，直接死于地震 24 万多人，当时正值酷暑和暴雨，由于卫生部门及时采取隔离、消毒、防疫等各种措施，灾区没有发生疫情。如果灾后措施不利，唐山离北京、天津两市这么近，一旦疫情发生，后果不堪设想。由此可以看出震后应急工作在防震减灾中的重要作用。

概括来说，应急工作应主要从以下几方面做起：

首先，要立即组织人员疏散。疏散处应选择在开阔、没有高层建筑的广场或旷野，避开高大烟囱、高压线、架空管

建立地震应急指挥系统，可以大大提高政府对破坏性地震的应急反应能力，高效地调度和运用一切可能的救灾力量，是目前应对地震发生、综合防御地震的行之有效的手段。

道、变压器及狭窄的胡同和陡峭的山坡。

其次，对于轻伤人员，经过简单包扎以后，应组织他们参加救灾工作。在极震区，务必注意余震可能带来的影响，尤其是对危旧房屋，经过主震的剧烈摇撼后已不堪一击，千万不要用作避震处所。

第三，还要做好灾民的生活保障和生活安置工作。被救护的人员，虽然保住了性命，但面对毁坏的家园，往往处于无粮、无炊、无水、无衣、无住处、无法出行等极其困难的境地，必须妥善解决。

在救助灾民的时候，务必特别注意那些丧失家庭支撑的鳏寡孤独的老人和孤儿，他们更需要救助。1976 年唐山地震就曾造成 40 万名孤儿和 4000 名孤老。在震区无力救助的情况下，国家动员、组织其他城市和地区代为安置，使那么多需要救助的人员得到了安置，为日后重建家园储备了力量。

10.5 建立地震应急指挥系统

建立地震应急指挥系统，可以大大提高政府对破坏性地震的应急反应能力，高效地调度和运用一切可能的救灾力量，是目前应对地震发生、综合防御地震的行之有效的手段。建设全国的地震快速响应与应急指挥体系，尽快提高各地地震应急反应和指挥的能力，已成为我国防震减灾工作有待解决的重要问题，该体系的建设将进一步体现我国政府全心全意为人民服务的宗旨，提高我国整体的地震应急水平，也将

国内外地震应急指挥技术系统的建设都经历了一个认识和发展的过程。

在未来破坏性地震面前发挥极大的作用，最大限度地减轻地震灾害造成的伤亡与损失。

地震应急指挥系统发展现状

国内外地震应急指挥技术系统的建设都经历了一个认识和发展的过程。1995 年日本阪神大地震，由于没有建立像东京那样的应急指挥系统，以至于震后应急救灾工作一度陷于瘫痪，贻误了救灾时机，造成了很大损失，政府被指责工作不力，导致了内阁危机；2001 年印度大地震，救援工作直到 24 小时后才全面展开，并且是仓促上阵，造成本来可以挽救的很多生命却无辜失去。而美国不仅建立了密集的监测台网，其联邦紧急事务管理局还组织开展了有效的应急准备工作，建设了较完善的地震应急指挥体系，1994 年洛杉矶—北岭地震时，地震应急指挥技术系统发挥了关键作用，为政府应急救灾决策提供了重要的技术支持，有效地减轻了地震灾害损失。目前，国际上较为著名的地震应急指挥机构当属美国的联邦紧急事务管理局（IPEMA）和日本东京都防灾中心。

美国联邦应急管理局（FEMA）是一个体系庞大的联邦机构，其主要职责是应付突发的各类自然灾害（包括地震等）和突发事件。FEMA 通过其设在全美的 10 个区域中心和设在各州的紧急事务办公室，负责对发生在全美的自然灾害和其他涉及国家利益的紧急事务进行快速反应和应急指挥，一旦发生诸如大地震这样的突发事态，FEMA 将协调联邦 23

纵观国外地震应急指挥系统，可以发现其有三个突出的特点，即“快、准、网”。

个部、院、局机构和灾害发生州的各级政府开展有关应急指挥和紧急支援工作。FEMA 在全美建立了密布的指挥技术系统和通讯系统，这些系统的主要功能是：利用高新技术，评估突发事件的影响范围和损失情况，提出较为系统的应急需求评估方案，处理有关救灾的一切事宜，负责救灾现场的协调、办公、指挥，负责救灾物资的管理。这些功能完善的应急技术系统，其主要工作内容是：

（1）灾时，制定各地应急预案，保障灾时紧急通信，开展灾害损失和范围评估，研究紧急疏散模型，提出紧急救援需求，指挥救援行动、医疗救护；

（2）平时，开展公众教育，进行区域危险性分析、危险通报、数据库建设、信息管理、减灾工程评估等。其中同自然灾害应急有关的主要是 SAIC 紧急预报灾害管理系统。

纵观国外地震应急指挥系统，可以发现其有三个突出的特点，即“快、准、网”。“快”是指先进国家的地震应急体系的应急反应速度、快速出动能力、现场反馈能力十分迅捷；“准”是指在全方位现场监控的前提下，通过各种计算、决策分析等使得其行动准确，救灾措施得力，救灾部署到位；“网”是指先进国家的地震应急指挥系统已经成为覆盖其全国范围的一整套指挥网络体系，并且具有一个强大的中央调度协调中心。

我国的地震应急指挥系统建设也取得了很大进展。“九五”期间，在国家的支持下，中国地震局已初步建立了国家级地震应急快速响应系统和首都圈即北京市、天津市、河北省地震快速响应系统。这些系统在较为先进的软硬件条件支

中国地震局已初步建立了国家级地震应急快速响应系统和首都圈即北京市、天津市、河北省地震快速响应系统。

持下已经初具规模。

我国地震应急指挥系统与先进国家的差别

近几年来，我国已在国家地震应急快速响应技术系统、首都圈地震应急指挥中心系统以及个别城市地震应急指挥中心系统上投入了一定的物力财力，但同国外先进水平相比还有很大差距，主要表现在：

（1）我国已建立的地震应急指挥系统在通信能力、硬件水平、软件功能、指挥能力、数据库建设等方面，同国际先进水平还有很大的差距。比如 FEMA 系统可以在震后 30 分钟左右完成初步指挥决策并下达指示，救灾人员 1 小时左右已可抵达灾区，而我国的现有系统信息处理就需要 2～6 小时，救灾人员进入灾区通常在 6 小时以后，而震后 6 小时恰恰是挽救人员生命的最关键时段。

（2）我国幅员辽阔，情况复杂，仅靠个别地震应急指挥系统无法满足需要。我国基础通信落后，在一些边远地区发生地震后，地震数据和相关基础信息需要 2～4 小时才能通过网络传送到北京进行处理，再经过 2 小时左右的处理后，才能形成初步的救灾决策意见，这明显落后于我国防震减灾事业发展的需要。

（3）现有的指挥系统信息处理手段落后，不能实时处理震时的大量数据，需要 24 小时以上才能处理出指挥决策所需的各种信息。而日本在地震发生后 3 分钟内，就可绘出地震灾害、烈度分布图，供应急救灾与决策指挥使用。地震辅

助决策与指挥功能落后，这点同 FEMA 和东京系统的差距尤为明显。

(4) 地震应急的首要保障是通信系统的畅通。目前获取地震灾区上报信息的手段极为落后，不能及时反馈重要的受灾信息；在信息的获取与处理中，高新技术(如遥感等)所占比例过低，无法达到快速响应地震灾害的需要。

(5) 到目前为止，中国地震局系统尚无可实际使用的地震现场指挥系统。

(6) 我国的地震应急基础数据库建设才刚刚起步，所需的大量数据尚未收集到位。

10.6 建立地震应急避难场所

紧 迫 性

随着我国城市现代化建设进程的加快，灾害性事件的威胁日益严重，虽然在城市规划和建设中，采取了加强建筑物和构筑物抗震性能等保护国家财产和居民人身安全的一系列措施，但是城市的整体防震减灾能力仍远远落后于城市现代化建设，而且问题日益突出。通过近年来对频繁发生的城市地震灾害进行分析，政府部门逐渐认识到建设地震应急避难场所已成为我国城市防灾减灾的一项紧迫任务。

(1) 建设应急避难场所是城市现代化建设发展的需要

城市现代化建设的特点是：城市单体建筑物的高度不

一旦地震灾害降临，第一时间的救助主要靠的是自救互救。然而，自救互救工作的开展需要预先设立科学、规范的应急避难场所，这是自救互救的一项基础条件。

断增高；就我国国情来说，大中城市，特别是国际化大都市的建设，受土地价格的约束，建筑物间的安全空间越来越小。北京、上海等大城市的人口密度很高，社区本身的防火、通风、采光、休闲、娱乐等配套功能和所占空间也大大降低，从而会加重地震次生灾害的损失。

（2）建设应急避难场所是城市应对自然灾害、人为事故和意外灾害事件的需要

地震应急避难场所也可作为其他灾害的应急避难场所。规划建设城市特别是对大城市和特大城市的应急避难场所，是应对城市地震、火灾和水灾等重大突发性灾害事件，减少伤亡和损失的一项重要措施。

（3）建设应急避难场所是城市社区开展应急防灾工作的基础工作平台

按照我国防震减灾工作以预防为主、防御与救助相结合的方针，除了加强地震监测预报、建筑物抗震能力等措施外，一旦地震灾害降临，第一时间的救助主要靠的是自救互救。然而，自救互救工作的开展需要预先设立科学、规范的应急避难场所，这是自救互救的一项基础条件，也是预防工作的一项重要内容。由于这项工作的特殊性，需要专门的场所和设备供居民进行教育训练。因此，应急避难场所的建设是灾前应急工作中最主要的工作和措施，也是社会民众直接参与应急防灾的基础平台。

（4）建设应急避难场所的有关法律、法规的明文规定

1997 年 12 月 29 日颁布的《中华人民共和国防震减灾法》第三十五条规定了“地震灾区的县级以上地方人民政府

应当组织民政和其他有关部门和单位，迅速设置避难场所和救济物资供应点，提供救济物品，妥善安排灾民生活，做好灾民的转移安置工作”。

1995 年国务院发布的《破坏性地震应急条例》第十九条规定：“在临震应急期，有关地方人民政府应当根据实际情况，向预报区的居民以及其他人员提出避震撤离的劝告；情况紧急时，应当有组织地进行避震疏散。”第二十九条规定：“民政部门应当迅速设置避难场所和救灾物资供应点，提供救济物品等，保障灾民的基本生活，做好灾民的转移和安置工作。其他部门应当支持、配合民政部门妥善安置灾民。”

2003 年 7 月 1 日第 11 次建设部常务会议讨论通过、11 月 1 日起正式施行的《城市抗震防灾规划管理规定》第九条明确规定：“关于制定城市抗震防灾规划，应当包括市、区级避震通道及避震疏散场地（如绿地、广场等）和避难中心的设置与人员疏散的措施。”

国内外建设应急避难场所简况

（1）国外简况

目前，国际上的避难场所大都因战争或重大自然灾害而临时搭建。这些避难场所没有使用的确定时间和固定地点，有些还因战场的推进、灾害的继续发展而随时迁移。严格地说，专门为防御自然灾害而设立的避难场所，国际上还不多见，据了解只有日本建立了地震应急避难场所。

日本为了与国际接轨，避免与宗教信仰冲突，将地震避难场所原标志中的“十”字标志改为“运动的人跑入场地”的标志，开始在全国范围内使用。

根据灾害特点和情况，日本国家和各省相继制定相应法律，要求建立地震避难场所和实施灾民紧急疏散避险的各项措施。在日本各省的城市规划和建设中，设立了地震避难场所，并设置了多种防灾标志牌（如地震避难场所标示牌、地震避难场所道路标示牌、紧急逃生路线图、紧急出口和抢险救援等标示牌）。

2000 年，日本制定了全国统一的地震避难标志牌（日本工业标准 JIS）。

2000 年以后，日本为了与国际接轨，避免与宗教信仰冲突，将地震避难场所原标志中的“十”字标志改为“运动的人跑入场地”的标志，开始在全国范围内使用。

（2）国内简况

1949 年新中国成立后，每次发生地震，中央和地方政府都会迅速派出部队赶赴灾区抢险救灾。当然，这只是灾后的救援行动。

1966 年 3 月 8 日和 22 日邢台地震后，随着我国地震监测预报、震害预防工作的开展，震前的应急防御工作和有组织的室外地震应急避险工作也逐渐开展起来。这时的应急避险工作还是局部的和分散的。

1976 年 7 月 28 日，北京地区受唐山 7.8 级地震的波及影响，部分民房、建筑物倒塌或损坏。震后，市委、市抗震救灾指挥部为了避免可能发生的余震影响，有组织地安排城市居民疏散到公园、城市绿地、林荫绿化带、体育场。震后经过抽样调查，在唐山地震后疏散到公园、城市绿地、林荫绿化带的城市居民约 176.6 万人。其中，仅陶然亭公园、天坛公园、

减轻人为灾害的对策。

中山公园三大公园就接待疏散群众 17.4 万人。

近些年来，在我国一些地区破坏性地震发生后，地震灾区都建立了临时的灾民疏散区，搭建了地震帐篷，但是，我们所见到的这些临时地震应急避难场所，大都是地震发生后，由抢险救灾队伍临时搭建的灾民聚居点，没有配置基本的生活设施，如缺少上下水、生活用电等，真正有较为科学、规范的地震应急避难场所还没有。图 10.1 为西安市地震局设立的地震应急避难场所指示牌。



图 10.1 西安市地震应急避难所

10.7 减轻人为灾害的对策

地震时，几十秒甚至几秒钟这个短暂的瞬间人们应变行为的失当，将会造成严重的伤亡，即所谓的人为灾害。它与地震原生、次生和衍生灾害有很大的区别。人为灾害包括：

人为灾害，是指地震时由于人们的应变行为不当或因地震谣传、误传而引起的错误行为造成的灾害。其前提是地震自然灾害或地震谣传、误传的大环境。

(1) 各种爆炸事故；

(2) 火灾；

(3) 核工厂事故；

(4) 化工厂泄放毒物事故等。

可见，人为灾害是相对于自然灾害而言的人为致灾过程。这里所说的人为灾害，是指地震时由于人们的应变行为不当或因地震谣传、误传而引起的错误行为造成的灾害。其前提是地震自然灾害或地震谣传、误传的大环境。

以下举一些实例加以说明：

1975 年 2 月 4 日，辽宁海域、营口一带发生 7.3 级地震，由于当地群众没有经过大震，对地震波动现象辨别不清，造成不必要的伤亡。6 度区房屋基本没有倒塌，但由于震时应急避难不当，高门脸、女儿墙等塌落，砸死砸伤 431 人，其中死亡 76 人。震后三个月内，抗震棚发生火灾达 3142 起，烧伤 1000 余人，死多人，占地震直接伤亡的 30%左右。

1979 年 7 月 9 日，江苏溧阳发生 6 级地震，死亡 41 人，重伤 654 人，轻伤 2305 人。死亡的 41 人中，被慌乱不堪的人群踩死的就有 9 人，占 22%；654 名重伤人员，524 人是震时应急方法不当，刚跑出门外，被塌下的前檐斗墙或门头所砸，占重伤人员的 80%。距溧阳震中 85 公里的镇江市，发生了多起跳楼事件，造成 12 人重伤，距震中 75 公里的马鞍山市发生两起跳楼事件，7 人重伤，1 人当场死亡，南京也有类似情况发生。

1984 年南黄海地震，距震中 130 公里的上海市和 85 公里的南通市，因惊慌跳楼造成上百人伤亡。

单位及社会团体，是城市的基本单元和重要组成部分，其抗震能力的提高，对减轻地震灾害至关重要。

1985年3月29日，四川自贡发生4.8级地震，倒塌房屋仅8000多平方米，而伤亡竟达281人。其中非地震伤亡244人，占伤亡总人数的85％。

1989年9月四川小金县发生6.6级地震，非地震伤亡竟占地震伤亡总人数的93.5％，人为灾害之严重，令人触目惊心。

西河乡中心小学有451名学生，震前毫无准备，震时惊慌失措，乱作一团，互相拥挤，争相抢道，因挤压踩踏和跳楼致伤的就达100余人。而无边中心小学，震前有准备，震时有秩序，在老师的严密组织下，按照先小后大，先学生后老师的原则实施疏散，结果无一伤亡。两所学校震时不同的应变行为有着截然不同的后果。

由以上实例可以看出人为地震灾害的严重性。因此，要减轻人为的地震灾害，就应在遭遇地震袭击的一瞬间，真正做到临震不乱，随机应变，审时度势，保命求生。单位、家庭和个人都应有防灾应急对策。

单位及社会团体，是城市的基本单元和重要组成部分，其抗震能力的提高，对减轻地震灾害至关重要。单位减灾对策包括：

（1）单位要把抗震工作作为大事，列入重要议事日程，实行领导任期目标责任制；

（2）广泛开展宣传教育，普及地震、抗震科普知识，提高广大职工的抗震意识和震时的应急应变能力。

（3）组织抗震防灾演习和专业队伍的培训教育，提高技术素质和快速反应能力；

在地震发生时的短暂瞬间，人们应变行为的正确与否，是减少人为灾害的关键。

(4) 学校、幼儿园、俱乐部和农贸市场等人流集中的公共场所都要编制应急预案，落实各项防灾措施；

(5) 重要部门和岗位，要有严明的纪律和安全操作规程，严禁震时逃岗，避免因错误操作造成不应有的灾害。

(6) 在短临预报发布后，对群众搭建的防震棚的防火安全等问题要做出明确规定，认真搞好宣传，及时组织检查，防患于未然。

家庭是社会的细胞，落实家庭应急对策，对抗震防灾工作有着十分重要的意义。家庭应急对策包括：

(1) 家庭成员都要全面了解震前准备、临震应急、震时自救、震后抢险与震后救灾等各个时段的具体要求；

(2) 每个家庭成员都要了解住所周围的环境条件及避震的场地、路线和有关规定；

(3) 每个家庭成员都要熟悉水电闸、阀的位置及煤气炉灶的应急关闭操作要求；

(4) 每个家庭成员都要懂得抢险救灾的基本知识，学会简易的急救方法；

(5) 临震前要清理家中易爆、易燃物品，容易塌落的高架物品及阳台的花盆、砖块等危险物品；

(6) 在短临预报发布后或出现大量宏观前兆异常的紧张时刻，应建立家庭抗震防灾应急箱(包)，准备必要的熟食、饮水、手电、蜡烛、常用药品、小型收音机等，以备震后使用。

在地震发生时的短暂瞬间，人们应变行为的正确与否，是减少人为灾害的关键。其中的个人自救对策包括：

(1) 居住平房的人员，如果屋外有空旷野地，地震时可

希望每一位读者都能掌握多种避震防灾的常识和技能，从而使自己在各种突如其来的地震灾害面前镇定自若，处之泰然，并积极地参与到震后抢险救灾的行动中。

审时度势，随机应变，以最快的速度外出避震或就地隐蔽在室内较安全的地方；

(2) 居住楼房的人员，地震时千万不要惊慌跳楼或外逃，应立即躲避在家具、床、桌子或灶房、厕所和空间较小的房间，主震后立即撤离；

(3) 如果地震发生在夜间，不要因寻找衣物或穿衣耽误时间，要争分夺秒立即向安全地带转移或就近隐蔽；

(4) 地震时，凡逃出屋外的人员，不要在狭窄的小胡同或高大建筑物、高压线附近逗留；

(5) 在岗人员，地震时要沉着冷静，坚决果断，立即切断电源，关闭有毒有害易燃易爆物品的闸、阀，停止油气输送，然后再就近避震；

(6) 主震后，不要立即进入房内，防止强余震的袭击，以免造成伤亡。

希望每一位读者都能掌握多种避震防灾的常识和技能，从而使自己在各种突如其来的地震灾害面前镇定自若，处之泰然，并积极地参与到震后抢险救灾的行动中。

参考文献

[1] Bruce A. Bolt 著. 马杏垣译. 地震九讲. 北京:地震出版社,2004

[2] 王子平,陈非比,王绍玉等. 地震社会学初探. 北京:地震出版社,1989

[3] 李树桢. 地震灾害评估. 北京:地震出版社,1996

[4] 姜立心,聂高众,帅向华等. 我国地震应急指挥技术体系初探. 自然灾害学报,2003,12(2)

[5] 杨文斌,韩世文,张敬军等. 地震应急避难场所的规划建设与城市防灾. 自然灾害学报,2004,13(1)

[6] 笠原庆一著. 郑斯华,庄灿涛译. 防灾工程学中的地震学. 北京:地震出版社,1992

[7] 王景明. 华北地震灾害与对策. 北京:地震出版社,1993

[8] 张家诚主编. 地学基本数据手册. 北京:海洋出版社,1986

[9] 陈寿梁,魏琏主编. 抗震防灾对策. 郑州:河南科学技术出版社,1988

[10] 中华人民共和国国家统计局,中华人民共和国民政部编. 中国灾情报告 1945—1995. 北京:中国统计出版社,1995

[11] 邢永信. 地震的人为灾害及预防对策. 下载网址 http://www.interoutstandingthesis.com/zjlw4/zj00065-1.htm

[12] 国际减轻自然灾害十年顾问委员会. 面对自然灾害. 北京:地震出版社,1988

[13] 楼宝棠. 中国古今地震灾情总汇. 北京:地震出版社,1996

[14] 刘恢先主编. 唐山大地震震害(第四册). 北京:地震出版社,1985

[15] 张徽正主编. 九二一地震地质调查报告. 经济部中央地质调查所编印,1999

[16] 周易．九二一地震风景与写真集(珍藏本)．郑州:文心出版社,2000

[17] 云南省丽江纳西族自治县地震局编,李康龙主编．1996 年云南丽江 7.0 级地震震害照片集．德宏民族出版社,1997

[18] 阪神大震——毁坏的土木构造的全容．Nikkei Construction, 1995

[19] 京都新闻社．阪神大震灾．(日本)凸版印刷株式会社,1995

[20] 国家地震局地质研究所．中国八大地震震害摄影图集．北京:地震出版社,1983

[21] 郭增建,陈鑫连．地震对策．北京:地震出版社,1986

[22] 中华人民共和国防震减灾法．北京:法律出版社,1998

[23] 破坏性地震应急条例．1995 年 2 月 11 日国务院发布

《院士科普书系》总书目

《院士科普书系》第1辑目录

1	对称与不对称	李政道　著　朱允伦　柳怀祖　编
2	来自微观世界的新概念——单分子科学与技术	白春礼　著
3	第三种科学方法——计算机时代的科学计算	石钟慈　著
4	计算机怎样解几何题——谈谈自动推理	张景中　著
5	机会的数学	陈希孺　著
6	信息世界漫谈	李衍达　编著
7	从绿叶到激光光盘——颜色与化学	袁渭康　主编　田　禾　陈孔常　著
8	人类认识世界的帮手——虚拟现实	汪成为　著
9	海陆空天显神威——惯性技术纵横谈	丁衡高　著
10	21世纪的绿色交通工具——电动车	陈清泉　詹宜巨　著
11	坐飞机去——现代民用运输航空	管　德　著
12	悄悄进行的破坏——金属腐蚀	曹楚南　编著
13	千秋功罪话水坝	潘家铮　著
14	九曲黄河万里沙——黄河与黄土高原	张宗祜　著
15	沉默的宝藏——盐湖资源	张彭熹　著
16	今日水世界	刘昌明　傅国斌　著
17	节水农业	山　仑　黄占斌　张岁岐　编著
18	产业大观	朱高峰　著
19	动物的运动	钦俊德　著
20	菌物世界漫游	裘维蕃　著
21	地球上最重要的化学反应——光合作用	沈允钢　著
22	运筹帷幄，决胜千里——从生态控制系统工程谈起	关君蔚　著
23	梳理人、事、物的纠纷——问题分析方法	肖纪美　著
24	消除血肉之灾——创伤防治	王正国　主编
25	征战癌王	汤钊猷　著

《院士科普书系》第 2 辑目录

1	人类认识世界的五个里程碑	席泽宗　主编
2	人造小太阳——受控惯性约束聚变	王淦昌　著
3	中子——打开原子能时代的金钥匙	丁大钊　著
4	加速器与科技创新	谢家麟　编著
5	我们生活在磁的世界里——物质的磁性和应用	章　综　主编　李国栋　著
6	稀土元素——您身边的大家族	苏　锵　著
7	奇异的光——激光	姚建铨　编著
8	人类的灾难——核武器与核爆炸	乔登江　朱焕金　编著
9	变幻流动的科学——多相流体力学	林宗虎　著
10	模糊性——精确性的另一半	刘应明　任　平　著
11	神奇的表面工程	徐滨士　著
12	空天技术与材料科学	傅恒志　朱　明　杨尚勤　著
13	泥土中的铝——科技腾飞的使者	邱竹贤　著
14	能源世界之窗	朱亚杰　孙兴文　著
15	石油树结奇异果	汪燮卿　刘济瀛　著
16	神奇的地热	汪集旸　孙占学　编著
17	海底矿产	金庆焕　著
18	21 世纪的铁路	王梦恕　于昆蓉　编著
19	数字地球与测绘	宁津生　陈　军　晁定波　编著
20	信息化社会的基石——计算机	周兴铭　徐　明　著
21	教电脑识字——浅谈汉字识别	吴佑寿　著
22	天堂的种子——热带作物	黄宗道　编著
23	面对大自然的报复——防灾与减灾	马宗晋　康　平　高庆华　苏桂武　编著
24	岩溶——奇峰异洞的世界	卢耀如　著
25	妇女保健	宋鸿钊　著

《院士科普书系》第3辑目录

1	21世纪的阳光产业——生态农业	金鉴明　卞有生　编著
2	工业发展的面包——芯片	沈绪榜　编著
3	我们身边的超声世界	应崇福　著
4	地下城市	钱七虎　卓衍荣　编著
5	坚韧的盾牌——中国筑城史话	杨秀敏　徐　飞　邬建华　编著
6	生态系统浅说	阳含熙　李　飞　著
7	还我大自然——地球敲响了警钟	李星学　王仁农　编著
8	胆石病——一个外科学家的实录	黄志强　著
9	飞行的金属	刘业翔　李洪桂　上官正　张永键　著
10	玻璃丝的神通——浅谈光纤通信	赵梓森　著
11	黄道婆走进现代纺织大观园——纺织新技术、新工艺和新设备	季国标　梅自强　周　翔　邢声远　编著
12	射线束和材料改性	黄祖洽　著
13	化学污染——破坏环境的元凶	陈荣悌　赵广华　著
14	癌症有那么可怕吗——认识癌症，为了防治	吴　旻　著
15	揭开核武器的神秘面纱	经福谦　陈俊祥　华欣生　著
16	人类的诞生与进化	吴汝康　著
17	氮循环——维系地球生命生生不息的一个自然过程	朱兆良　邢光熹　编著
18	探索地球内部的奥秘	曾融生　陈运泰　编著
19	黄河——我们的母亲河	任美锷　著
20	金矿——人类最早认识和利用的矿产	涂光炽　刘秉光　王秀璋　著
21	石油——人类文明社会的血液	李德生　罗　群　著
22	核能——无穷的能源	欧阳予　主编　于仁芬　缪宝书　编著
23	营造绚丽多彩的光世界——发光学趣谈	徐叙瑢　编著
24	先进制造技术	姚福生　郭重庆　吴锡英　刘培权　编著

《院士科普书系》第4辑目录